UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA

Facoltà d'Ingegneria

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

Corso di Dottorato in Ingegneria Geotecnica

XXIII ciclo

***

Valutazione della sostenibilità ambientale di una discarica per RSU ed assimilabili tramite applicazione della metodologia LCA (Life Cycle Assessment).

TESI DI DOTTORATO

Dottorando: **Dott. Ing. Carlo Ingrao**

Tutor del dottorato: **Prof. Giuseppe Siracusa**

Coordinatore del dottorato: **Prof. Ing. Michele Maugeri**

A.A. 2010 - 2011

Indice

Introduzione

La presente trattazione è ispirata dalla consapevolezza che solo una sapiente combinazione delle attività di gestione dei rifiuti(prevenzione, riutilizzo, riciclo, recupero energetico e discarica), integrate nel quadro di una strategia coordinata ed attenta alle particolarità del tessuto socio-economico di adeguati bacini di raccolta, o ambiti territoriali, permette di raggiungere risultati concreti. L'obiettivo è quello di fornire una panoramica comprensiva della gestione dei rifiuti che evidenzi, per ogni attività, i punti di forza e le barriere, la situazione normativa di riferimento e le pratiche amministrative da adottare. Al giorno d'oggi nel territorio nazionale sono pochi i Comuni e le Province che non adottano sistemi di gestione dei rifiuti proprio perchè esistono norme sulla prevenzione di catastrofici impatti ambientali che non possono verificarsi. È quindi indispensabile seguire una strategia, secondo un iter sia burocratico che organizzativo di enti pubblici e privati, sulla gestione dei rifiuti nell'ambito territoriale, eseguendo a norma tutte le operazioni da fare dalla raccolta allo smaltimento dei R.S.U.(Rifiuti Solidi Urbani). Nelle società passate la situazione era certamente diversa, le cose prodotte duravano più a lungo ed i rifiuti urbani erano molti di meno. La spazzatura era composta da sostanze diverse da quelle attuali: la parte organica era prevalente, la plastica era assente e gli imballaggi non presentavano problemi di smaltimento perchè costituiti principalmente da materiale biodegradabile. Oggi il ciclo di produzione dei prodotti non tiene conto del destino delle merci; in tal modo si sviluppano *montagne* di rifiuti da smaltire nei modi più svariati. Per uscire da questa situazione, è necessario premere sul mondo produttivo, affinché i materiali impiegati risultino concretamente riutilizzabili e riciclabili. Ma la colpa è anche del consumatore, basti pensare alla velocità con cui un oggetto è considerato inutile e alle distrazioni spesso dimostrate nello smaltire i rifiuti negli appositi contenitori. Bisogna recuperare il rapporto fra noi e gli oggetti che utilizziamo adottando comportamenti più *responsabili e maturi.* Lo sviluppo economico e l'aumento dei consumi hanno contribuito a far crescere progressivamente la produzione di rifiuti. L'elevata diversificazione raggiunta nei processi produttivi ha inoltre generato la moltiplicazione delle tipologie dei rifiuti con effetti sempre più nocivi per l'ambiente. Questi problemi possono essere affrontati solamente con una gestione più *e*fficiente ed un maggiore ricorso al riciclaggio. Le politiche ambientali innovative hanno iniziato ad avere un peso significativo solo dal 1998. E' possibile coniugare positivamente la sostenibilità ambientale con lo sviluppo sociale ed economico solo se si incrementa l'efficienza nell'utilizzo delle risorse, dell'energia, dei materiali e del territorio. Per incrementare tale efficienza occorre potenziare la ricerca, la capacità di creare ed utilizzare innovazione tecnologica. Incentivare progetti pilota, tecnologie innovative di processo e di prodotto, diffondere le esperienze positive in atto: tutto ciò è essenziale ad una moderna ed efficace politica ambientale. Purtroppo si verifica, anche con una certa frequenza, il caso di discariche che o per la mancanza totale dei necessari presidi di isolamento o recupero dei percolati, o per il deterioramento o l'inadeguatezza degli stessi, rilasciano nel sotto suolo quantità rilevanti di *s*ostanze inquinanti che in forma di percolati possono raggiungere e quindi contaminare le falde acquifere. Lo stesso problema può derivare dalla presenza di depositi o impianti in cui siano stoccate o in uso sostanze tossiche. Anche in questo caso la mancanza di adeguati presidi contro il rischio di contaminazione della falda, rende possibile il verificarsi di questi pericolosi eventi. In entrambi i casi è necessario identificare la massa inquinante (o potenzialmente tale) sulla quale poter intervenire per essere opportunamente isolata dal sottosuolo e, se necessario, opportunamente drenata. E' sempre più evidente la necessità di analizzare e gestire il problema rifiuti come una

componente dei flussi totali di materia che attraversano la società, inserendo la gestione dei rifiuti all'interno di una strategia integrata di sviluppo sostenibile che abbia, tra le priorità, la riduzione dell'utilizzo delle risorse, il minore consumo di energia e la minimizzazione delle emissioni alla fonte. Nell'ottica di una gestione più efficiente dei rifiuti con lo scopo di ottenere uno smaltimento sempre più compatibile con i fragili equilibri ambientali, una soluzione valida è il riciclaggio dei materiali presenti nei rifiuti, i quali si reinseriscono nei cicli produttivi, risparmiando materie vergini (risorse naturali), energia e acqua. Con il riciclaggio si evita che migliaia di tonnellate di rifiuti vengano smaltite nei modi tradizionali con la duplice opportunità di ridurre l'inquinamento e di limitare il dispendio delle risorse naturali mettendo in evidenza il fatto che lo smaltimento in discarica è attualmente la pratica comune. Non dimentichiamo che però anche una discarica come vedremo nel capitolo dedicato può essere costruita a norma nel rispetto dell'ambiente divenendo una fonte di produzione di energia elettrica e termica. Cercando di ottenere il maggior recupero possibile di energia dai rifiuti, un ruolo fondamentale è sicuramente svolto dallo sfruttamento del biogas prodotto dalle discariche. Si tratta infatti, di recupero di energia da materiali che, una volta depositati in discarica non possono più essere sfruttati. La captazione del biogas e del percolato in una discarica svolgono anche un importante ruolo per quanto riguarda la limitazione degli impatti ambientali: si ottiene una forte limitazione della diffusione in aria di composti maleodoranti provenienti dalla discarica, con effetti sicuramente positivi sul territorio situato nelle vicinanze dell'impianto di trattamento. In più si evita che grandi quantità di gas serra clima-alterati vengano disperse nell'atmosfera ed è questo un problema ambientale connesso alle discariche di notevole importanza. Nel corso degli anni successivi la chiusura di un sito, le portate delle emissioni e le concentrazioni di sostanze inquinanti tendono a diminuire, a causa del limitato apporto di acque dall'esterno e dell'esaurimento di sostanze putrescibili e di sostanze lisciviabili. Gli studi di modellizzazione di discariche che considerano l'ammasso di rifiuti come un mezzo omogeneo, indicano come le caratteristiche del percolato possano essere un indice del grado di stabilizzazione di una discarica; pertanto indicano le caratteristiche del percolato raccolto dal sistema di captazione rispecchiando la situazione globale all'interno dell'ammasso. Nella realtà dei fatti, la discarica è un mezzo fortemente disomogeneo, anisotropo in senso orizzontale, in cui il flusso avviene prevalentemente attraverso percorsi preferenziali. A causa di tale stratificazione, della presenza di materiali plastici, della formazione di orizzonti meno permeabili, si possono creare zone di accumulo di percolato nelle quali le condizioni di degradazione possono essere molto diverse da quelle attribuite a tutto il resto dell'ammasso, valutate solo in base alla qualità e quantità del percolato raccolto. In campo ambientale da diversi anni vengono impiegate tecniche geofisiche per la misura di resistività e di polarizzazione indotta con lo scopo di caratterizzare falde contaminate, suoli da bonificare, individuare lacerazioni nell'impermeabilizzazione di discariche. Il vantaggio principale di queste tecniche è la possibilità di realizzare le misure dalla superficie, in misura non distruttiva (quindi mantenendo intatte le strutture indagate), celere ed economica.

CAPITOLO 1 - I rifiuti : classificazione e livelli di produzione

1.1 Rifiuti e loro Classificazione

Tutti i materiali immessi sul mercato sono destinati, presto o tardi, a trasformarsi in **rifiuti** e tutti i processi produttivi generano rifiuti, che devono essere infine smaltiti. In natura non esiste il concetto di rifiuto ma solo di materia che si trasforma. Il problema dei rifiuti dunque è correlato alla loro **persistenza** nell'ambiente, alla **quantità** in progressivo aumento, all'**eterogeneità** dei materiali che li compongono e, non ultimo, all'eventuale presenza di sostanze pericolose. Per questo motivo la **prevenzione** della produzione e della pericolosità dei rifiuti deve essere affiancata alla **differenziazione**, al **riciclo** dei materiali e al **recupero** energetico di quelli non recuperabili sotto-forma di materia. Secondo la definizione riportata all'interno del Testo Unico Ambientale (D.lgs. 152/06), è possibile definire i rifiuti come "**tutte le sostanze o gli oggetti derivanti da attività umane o da cicli naturali di cui il detentore decida di disfarsene o ne abbia l'obbligo** ". Sempre il Testo Unico in materia di tutela dell'ambientale classifica i rifiuti, secondo l'origine, in rifiuti urbani e speciali, mentre, secondo le caratteristiche delle sostanze pericolose che lo compongono, in rifiuti pericolosi e non pericolosi; tutti i rifiuti sono identificati da un codice a sei cifre. L'elenco dei codici identificativi (denominato CER 2002 e allegato alla parte quarta del D.lgs. 152/06) è articolato in venti classi: ogni classe raggruppa rifiuti che derivano da uno stesso ciclo produttivo; all'interno dell'elenco, i rifiuti pericolosi sono contrassegnati da un asterisco.

1.1.1. I rifiuti urbani

Il comma 2 dell'articolo 184 del D.lgs. 152/06 stabilisce che **sono rifiuti urbani**:

a) i rifiuti **domestici**, anche ingombranti, provenienti da locali e luoghi adibiti ad uso di civile abitazione;
b) i rifiuti non pericolosi provenienti da locali e luoghi adibiti ad usi diversi da quelli di cui alla lettera a), **assimilati** ai rifiuti urbani per qualità e quantità;
c) i rifiuti provenienti dallo **spazzamento** delle strade;
d) i rifiuti di qualunque natura o provenienza, **giacenti sulle strade ed aree pubbliche** o sulle strade private comunque soggette ad uso pubblico o sulle spiagge marittime e lacuali e sulle rive dei corsi d'acqua;
e) i rifiuti vegetali **provenienti da aree verdi**, quali giardini, parchi e aree cimiteriali;
f) i rifiuti provenienti da esumazioni ed estumulazioni nonché gli altri rifiuti **provenienti da attività cimiteriale**.

Fig. 1.1 - accumulo di rifiuti urbani. Fonte: immagine internet

Le ultime disposizioni normative, introdotte dal D.Lgs 152/2006, ulteriormente modificate poi ad inizio 2008, dal D.Lgs 4/2008, hanno previsto una serie di limitazioni alla possibilità di assimilazione dei rifiuti speciali ai rifiuti urbani .

1.1.1. I rifiuti speciali

Il comma 3 dell'articolo 184 del D.lgs. 152/06 stabilisce che **sono rifiuti speciali**:

a) i rifiuti da **attività agricole** e agro-industriali;
b) i rifiuti derivanti dalle **attività di demolizione, costruzione**, nonché i rifiuti pericolosi che derivano dalle attività di scavo, fermo restando quanto disposto dall'articolo 186;
c) i rifiuti da **lavorazioni industriali**, fatto salvo quanto previsto dall'articolo 185, comma 1, lettera i);
d) i rifiuti da **lavorazioni artigianali**;
e) i rifiuti da **attività commerciali**;
f) i rifiuti da **attività di servizio**;
g) i rifiuti derivanti dalla **attività di recupero e smaltimento di rifiuti**, i fanghi prodotti dalla potabilizzazione e da altri trattamenti delle acque e dalla depurazione delle acque reflue e da abbattimento di fumi;
h) i rifiuti derivanti da **attività sanitarie**;
i) i **macchinari** e le **apparecchiature deteriorati ed obsoleti**;
j) i **veicoli a motore**, rimorchi e simili fuori uso e loro parti;
k) il **combustibile derivato da rifiuti**;
l) i rifiuti derivati dalle **attività di selezione meccanica dei rifiuti** solidi urbani.

Fig.1.2 - accumulo di rifiuti speciali. Fonte immagine internet

1.1.2. I rifiuti urbani pericolosi (RUP)

Secondo il D.lgs. 152/06 (art. 184, comma 5), sono **rifiuti pericolosi** quelli contrassegnati da apposito asterisco nell'elenco CER2002. I rifiuti urbani pericolosi sono costituiti da tutta quella serie di rifiuti che, pur avendo un'origine civile, contengono al loro interno un'elevata dose di sostanze pericolose e che quindi devono essere gestiti diversamente dal flusso dei rifiuti urbani "normali". Tra i RUP, i principali sono i medicinali scaduti e le pile che proprio a causa della loro pericolosità vengono raccolti separatamente in appositi contenitori. Tutte le farmacie ad esempio sono dotate di un contenitore recante la scritta "medicinali scaduti" posizionato in corrispondenza dell'ingresso. In tale elenco alcune tipologie di rifiuti sono classificate come pericolose o non pericolose fin dall'origine, mentre per altre la pericolosità dipende dalla concentrazione di sostanze pericolose e/o metalli pesanti presenti nel rifiuto. Per "**sostanza pericolosa**" si intende qualsiasi sostanza classificata come pericolosa ai sensi della direttiva europea 67/548/CEE e successive modifiche: questa classificazione è soggetta ad aggiornamenti, in quanto la ricerca e le conoscenze in questo campo sono in continua evoluzione. I "**metalli pesanti**" sono antimonio, arsenico, cadmio, cromo (VI), rame, piombo, mercurio, nichel, selenio, tellurio, tallio e stagno: possono essere presenti sia puri che combinati con altri elementi in composti chimici.

Fig. 1.3 - esempio di rifiuti urbani pericolosi

1.1.3. I rifiuti speciali pericolosi

I rifiuti speciali pericolosi, una volta definiti “rifiuti tossico nocivi”, sono quei rifiuti generati dalle attività produttive, quali:

- Raffinazione del petrolio
- processi chimici
- industria fotografica
- industria metallurgica
- oli esausti
- solventi
- produzione conciaria e tessile
- impianti di trattamento dei rifiuti
- ricerca medica e veterinaria.

in quanto queste implicano l’utilizzo di un'elevata dose di sostanze inquinanti. Pertanto, al fine di ridurre gli impatti ambientali associati al loro smaltimento, si utilizzano trattamenti che mirano a ridurne i livello di pericolosità e rendere così tali rifiuti innocui.

Fig. 1.4 - rifiuti speciali pericolosi in abbandono.

1.2 Produzione e gestione di rifiuti solidi urbani in Italia

Nel presente paragrafo sono stati riportati ed illustrati i dati 2009, estratti dal “Rapporto rifiuti 2011” redatto dall’ISPRA, relativi alla produzione e la gestione dei rifiuti solidi urbani in Italia nel cinquennio 2005-2009.

1.2.1 – Fase di produzione

Come mostrano i grafici e le tabelle seguenti, nell’anno 2009 la produzione dei rifiuti solidi urbani si attesta, a livello nazionale, a 32,1 milioni di tonnellate registrando così un calo percentuale di circa l’1% rispetto al 2008.

Tabella 1.1 – Produzione totale dei rifiuti solidi urbani per Regione nel quinquennio 2005-2009

Regione	2005	2006	2007	2008	2009
	(t)				
Piemonte	2.228.730	2.277.691	2.269.881	2.253.552	2.245.191
Valle d'Aosta	73.646	74.795	75.755	77.197	79.365
Lombardia	4.762.095	4.943.512	4.932.260	5.021.804	4.925.126
Trentino Alto Adige	477.883	492.253	490.022	505.741	515.134
Veneto	2.273.079	2.379.467	2.372.072	2.415.077	2.371.588
Friuli Venezia Giulia	603.087	598.628	618.592	611.915	591.685
Liguria	967.640	978.416	981.314	988.128	978.296
Emilia Romagna	2.788.635	2.858.942	2.876.778	2.951.475	2.914.819
Nord	**14.174.795**	**14.603.704**	**14.616.674**	**14.824.889**	**14.621.204**
Toscana	2.523.261	2.562.374	2.552.561	2.545.014	2.474.299
Umbria	556.528	565.120	565.033	548.219	531.743
Marche	875.571	868.455	875.192	865.465	846.950
Lazio	3.274.984	3.355.897	3.357.409	3.343.551	3.332.572
Centro	**7.230.344**	**7.351.846**	**7.350.195**	**7.302.249**	**7.185.564**
Abruzzo	694.088	699.797	697.122	699.265	688.712
Molise	133.365	129.497	129.568	134.712	136.367
Campania	2.806.113	2.865.168	2.852.735	2.723.326	2.719.170
Puglia	1.977.734	2.105.449	2.148.328	2.135.211	2.150.340
Basilicata	228.496	236.926	244.655	228.215	224.963
Calabria	935.620	939.208	943.205	922.259	944.435
Sicilia	2.607.788	2.717.967	2.695.198	2.650.411	2.601.798
Sardegna	875.206	860.966	864.068	846.664	837.356
Sud	**10.258.410**	**10.554.978**	**10.574.879**	**10.340.063**	**10.303.142**
Italia	**31.663.549**	**32.510.527**	**32.541.749**	**32.467.201**	**32.109.910**

Fonte: ISPRA

Tabella 1.2_a – Produzione pro-capite dei rifiuti solidi urbani per Regione nel quinquennio 2005-2009

Regione	Popolazione 2009	2005	2006	2007	2008	2009
		(kg/ab.*anno)				
Piemonte	4.446.230	513	523	516	508	505
Valle d'Aosta	127.866	594	599	601	608	621
Lombardia	9.826.141	503	518	512	515	501
Trentino Alto Adige	1.028.260	485	495	486	496	501
Veneto	4.912.438	480	498	491	494	483
Friuli Venezia Giulia	1.234.079	498	494	506	497	479
Liguria	1.615.986	601	609	610	612	605
Emilia Romagna	4.377.435	666	677	673	680	666
Nord	**27.568.435**	**531**	**544**	**539**	**541**	**530**
Toscana	3.730.130	697	704	694	686	663
Umbria	900.790	641	647	639	613	590
Marche	1.577.676	573	565	564	551	537
Lazio	5.681.868	617	611	604	594	587
Centro	**11.890.464**	**639**	**637**	**630**	**619**	**604**
Abruzzo	1.338.898	532	534	527	524	514
Molise	320.229	415	405	404	420	426
Campania	5.824.662	485	495	491	468	467
Puglia	4.084.035	486	517	527	523	527
Basilicata	588.879	385	401	414	386	382

Tabella 1.2_b – Produzione pro-capite dei rifiuti solidi urbani per Regione nel quinquennio 2005-2009

Regione	Popolazione 2009	2005	2006	2007	2008	2009
		(kg/ab.*anno)				
Calabria	2.009.330	467	470	470	459	470
Sicilia	5.042.992	520	542	536	526	516
Sardegna	1.672.404	529	519	519	507	501
Sud	**20.881.429**	**494**	**509**	**508**	**496**	**493**
Italia	**60.340.328**	**539**	**550**	**546**	**541**	**532**

Fonte: ISPRA; dati di popolazione: ISTAT

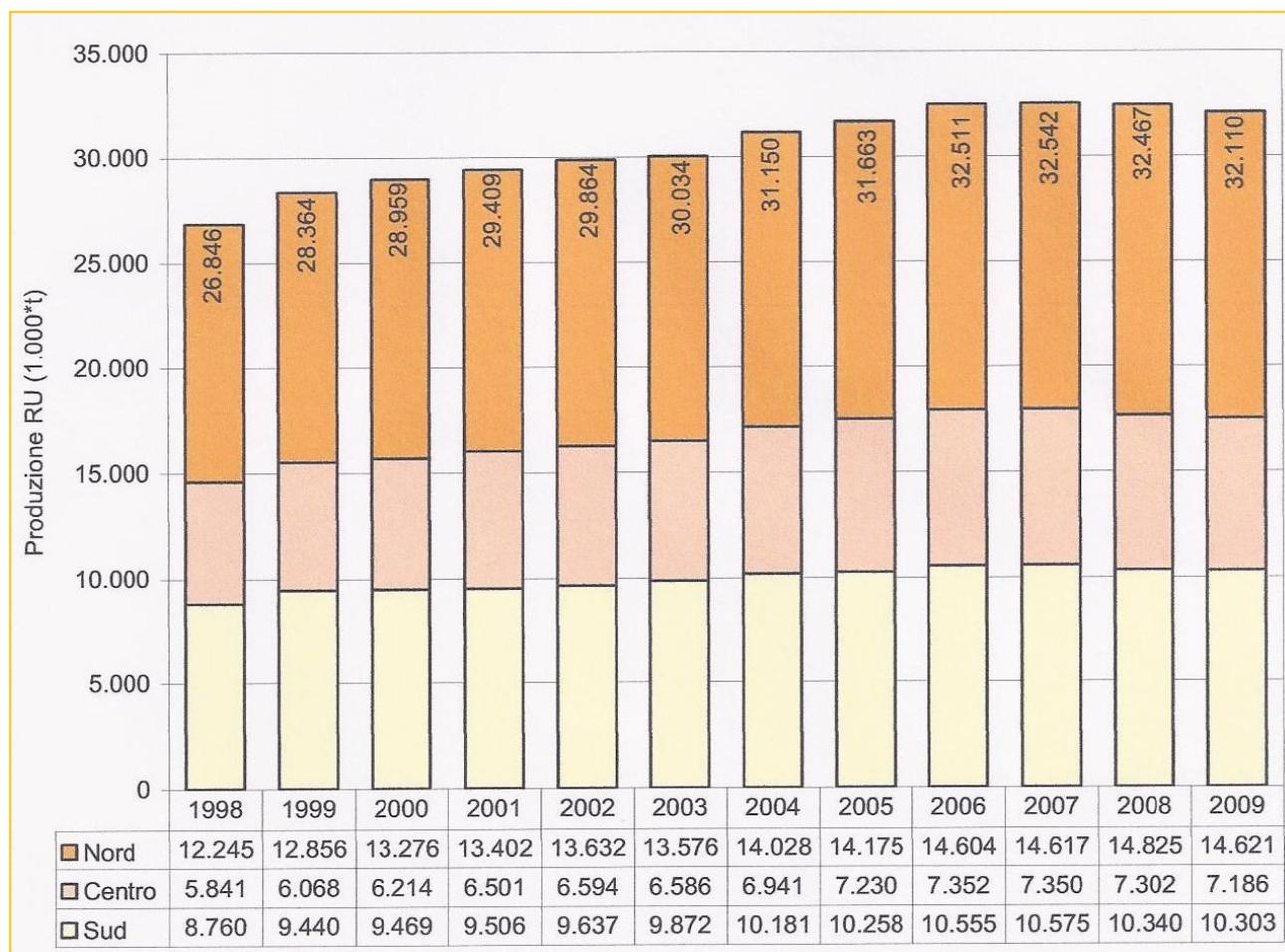



Fig. 1.5 – Andamento della produzione dei rifiuti solidi urbani dal 1998 al 2009

L'andamento della produzione dei rifiuti urbani può essere legato a diversi fattori, tra i quali, in primo luogo, la correlazione tra andamento della produzione degli RU e trend degli indicatori socio economici, quali prodotto interno lordo e spese delle famiglie residenti. Un ulteriore fattore che può incidere, in maniera anche sostanziale, sul dato complessivo di produzione dei rifiuti urbani è la tendenza, più o meno marcata nei diversi contesti territoriali e a livello di singolo comune, ad assimilare ai rifiuti urbani stessi diverse tipologie di rifiuti speciali derivanti dai circuiti produttivi. Questi rifiuti, in accordo con i regolamenti comunali, vengono in diversi casi raccolti nell'ambito dei sistemi di gestione dei rifiuti provenienti dal ciclo urbano e sono, dunque, computati tra gli RU, incidendo in maniera non trascurabile sul dato di produzione annuale di questi ultimi e sul loro andamento complessivo. Va, al riguardo, rilevato che le disposizioni normative introdotte dal D.Lgs

152/2006, successivamente modificate dal D.Lgs 4/2008, hanno previsto una serie di limitazioni alla possibilità di assimilazione dei rifiuti speciali ai rifiuti urbani. Un rallentamento della crescita della produzione dei rifiuti urbani può essere altresì legato all'attivazione di misure di prevenzione. A tal proposito si fa notare che diverse Amministrazioni da alcuni anni operano al fine di incentivare la prevenzione e la minimizzazione della produzione di rifiuti. Tra queste misure un ruolo importante gioca, senza dubbio, il diffondersi di strumenti di tariffazione puntuale dei servizi di raccolta, che incidono direttamente sui prezzi dei servizi e dei processi di gestione dei rifiuti, nonché l'attivazione di strumenti finalizzati a minimizzare i flussi avviati ai sistemi di raccolta attraverso la riduzione dell'immesso al consumo di prodotti. Tra questi si citano, ad esempio, l'introduzione di sistemi di erogazione alla spina, la promozione dell'uso dei contenitori a rendere, la diffusione dell'utilizzo di imballaggi secondari riutilizzabili, ecc. In alcuni contesti territoriali, inoltre, è ormai diffuso, da diversi anni, il compostaggio domestico che sta andando peraltro incontro a rapida diffusione anche in altre aree del Paese. Tale pratica consente di allontanare dai circuiti della raccolta quantità non trascurabili di frazione organica, che si configura come una delle matrici di più difficile gestione. La minimizzazione della produzione dei rifiuti può essere, altresì, legata alla progressiva sostituzione dei tradizionali shopper in plastica con sacchetti in plastica biodegradabile, oppure in carta, o in tessuto riutilizzabili, nonché alla diffusione dell'utilizzo delle cosiddette borse-carrello dotate di ruote. Tutti i fattori sopra indicati possono svolgere un ruolo più o meno determinate nella stabilizzazione del dato di produzione.
Il grafico seguente riporta l'andamento della produzione degli RSU in relazione ai principali fattori socio-economici; si osserva come il biennio 2008-2009 sia stato caratterizzato da una contrazione per tutti e tre gli indicatori presi in considerazione: il calo appare particolarmente evidente nel caso del PIL (-3%) e delle spese delle famiglie (-2%). Ai fini di una maggiore comprensione del grafico si fa notare che il valore "100" è un dato assunto come riferimento in quanto rappresenta il valore della produzione degli RSU, del PIL e della spesa delle famiglie nell'anno 2002.

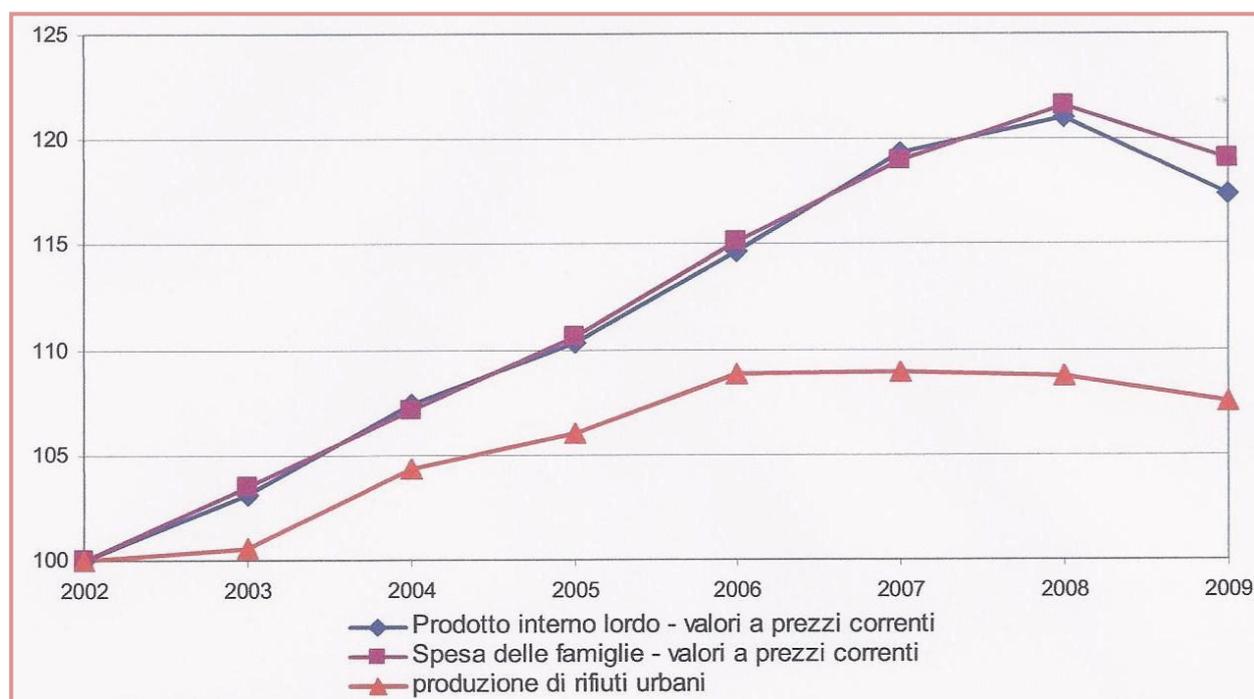



Fig. 1.6 – Andamento della produzione dei rifiuti solidi urbani dal 2002 al 2009 in relazione a quello degli indicatori socio-economici. Fonti: ISPRA per la produzione dei rifiuti; ISTAT per i fattori socio-economici

L'analisi dei dati a livello di macroarea geografica mostra, tra il 2008 ed il 2009, un calo di produzione pari all'1,6% nel Centro, all'1,4% nel Nord ed allo 0,4% nel Mezzogiorno. Per quest'ultima macroarea geografica, la riduzione più contenuta evidenziata nell'ultimo anno fa seguito al calo decisamente più consistente mostrato tra il 2007 ed il 2008 (-2,2%). Nel 2009 si assiste, pertanto, ad una diminuzione della produzione dei rifiuti urbani in tutte e tre le macroaree geografiche, a differenza di quanto rilevato nel 2008, anno in cui, a fronte di una riduzione della produzione nel il centro-sud, si era osservata una crescita, pari all'l,4% circa, nel Nord.

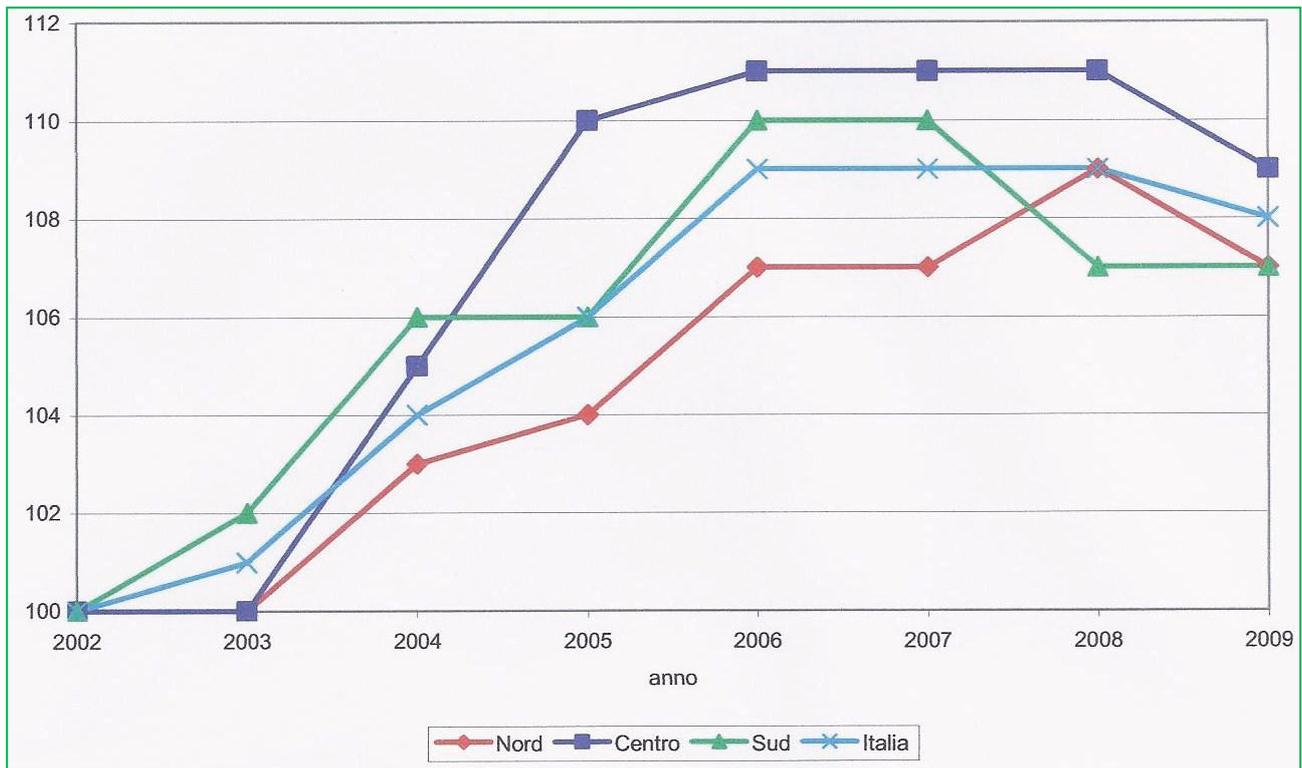



Fig. 1.7 – Andamento della produzione totale dei rifiuti solidi urbani dal 2002 al 2009 per macroarea geografica. 2002: anno di riferimento; Fonti: ISPRA

L'analisi dei dati nazionali di produzione pro capite, utile al fine di svincolare il valore relativo ai rifiuti dal livello di popolazione residente, mostra una riduzione, tra il 2008 ed il 2009, di circa 9 kg per abitante per anno, corrispondente ad una contrazione percentuale dell' 1,6%. Tale riduzione, che fa seguito ai calo già riscontrato nel precedente periodo 2006-2008, porta il, valore di produzione pro capite dei rifiuti urbani a circa 532 kg per abitante per anno. A tale proposito si rimanda il lettore alla figura 1.8. Rispetto al 2006, anno in cui la produzione pro capite aveva raggiunto il valore massimo di 550 kg per abitante per anno, la riduzione risulta pari a circa 18 kg per abitante per anno (-3,2%). A livello di macroarea geografica, il Centro fa ancora registrare, i maggiori valori di produzione pro capite, con circa 604 kg per abitante per anno nel 2009, mostrando tuttavia una progressiva riduzione già a partire dal 2006. Rispetto al 2005, infatti, la produzione di questa macroarea si è complessivamente ridotta di quasi 35 kg per abitante per anno, pari ad un calo percentuale del 5,4% circa. Il Nord ed il Sud si attestano, nel 2009, a valori di produzione pro capite pari, rispettivamente, a circa 530 e 493 kg per abitante per anno. Tali valori risultano analoghi a quelli fatti rilevare, dalle stesse macroaree geografiche, nell'anno 2005.

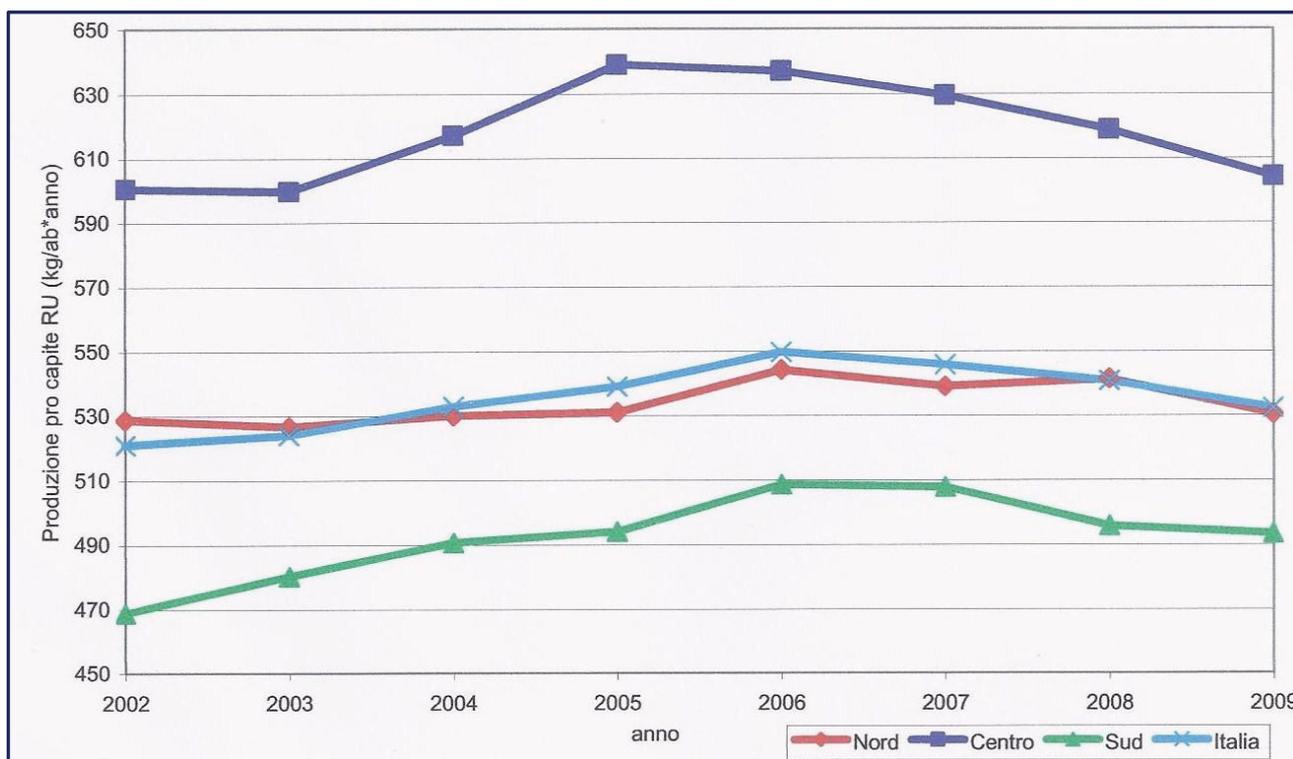



Fig. 1.8 – Andamento della produzione pro—capite dei rifiuti solidi urbani dal 2002 al 2009 per macroarea geografica. 2002: anno di riferimento; Fonti: ISPRA

1.2.1.1 PRODUZIONE DEI RIFIUTI SOLIDI URBANI IN SICILIA

Il presente paragrafo riporta i dati, estratti dal rapporto tecnico intitolato "Produzione e gestione dei rifiuti solidi urbani in Sicilia redatto dall'ARPA nell'Aprile 2010, relativi alla produzione di rifiuti solidi urbani nella Regione Sicilia sino al 2007.

I dati relativi alla quantità dei rifiuti urbani prodotti in ciascuna delle Province regionali nel quadriennio 2004-2007, riportati nella tabella 1, evidenziano che la produzione totale in Sicilia, che dal 2001 al 2006 aveva registrato un costante aumento, nel 2007 è leggermente diminuita attestandosi,bsu base regionale, a 2.696.198 tonnellate, con una produzione annua pro capite di 536 kg/ab in leggera diminuzione analogamente al dato nazionale.

Nel 2007 la Provincia di Palermo con 709.907 tonnellate ha prodotto circa il 25% del totale regionale di rifiuti urbani, registrando una diminuzione del 1% rispetto al 2006, seguita dalla Provincia di Catania che ha registrato una produzione sostanzialmente stabile sia in termini assoluti che in termini procapite. Lievi incrementi rispetto al 2006 ha registrato la Provincia di Messina; segnano un lieve decremento le Province di Agrigento, Caltanissetta e Trapani, mentre è invariata la produzione delle Province di Enna, Ragusa e Siracusa.

Tabella 1.3 – Produzione dei rifiuti solidi urbani nel quadrienno 2004-2007

Provincia	Produzione di rifiuti urbani totale (t)			
	2004	2005	2006	2007
Agrigento	193.968	195.377	225.028	211.003
Caltanissetta	123.209	128.067	132.648	127.547
Catania	625.007	687.182	644.676	649.090
Enna	72.817	74.131	73.472	74.712
Messina	292.892	268.764	323.568	343.657
Palermo	663.898	714.287	737.208	709.907
Ragusa	158.144	153.716	153.532	156.108
Siracusa	203.485	168.211	206.445	207.270
Trapani	210.896	224.341	221.390	215.904
Sicilia	**2.544.316**	**2.614.076**	**2.717.967**	**2.695.198**

Fonte dati: ISPRA; Elaborazione: ARPA Sicilia

I grafici seguenti riportano il trend della produzione dei rifiuti urbani prodotti in Sicilia ed in ciascuna delle province regionali nello stesso periodo.

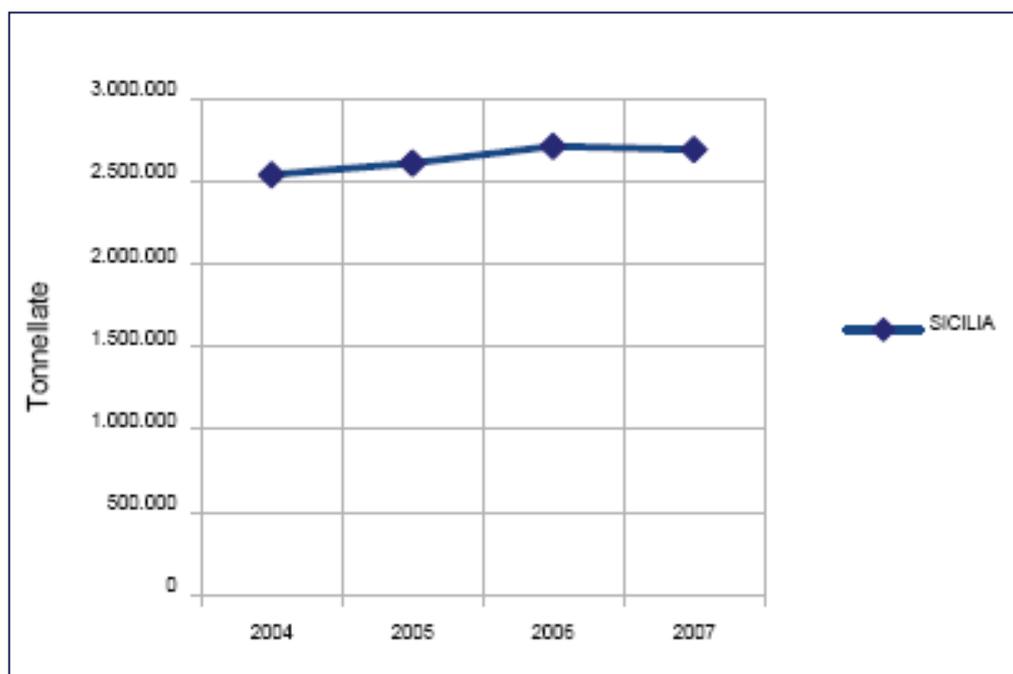



Fig. 1.9 – variazione della produzione dei rifiuti nella Regione Sicilia

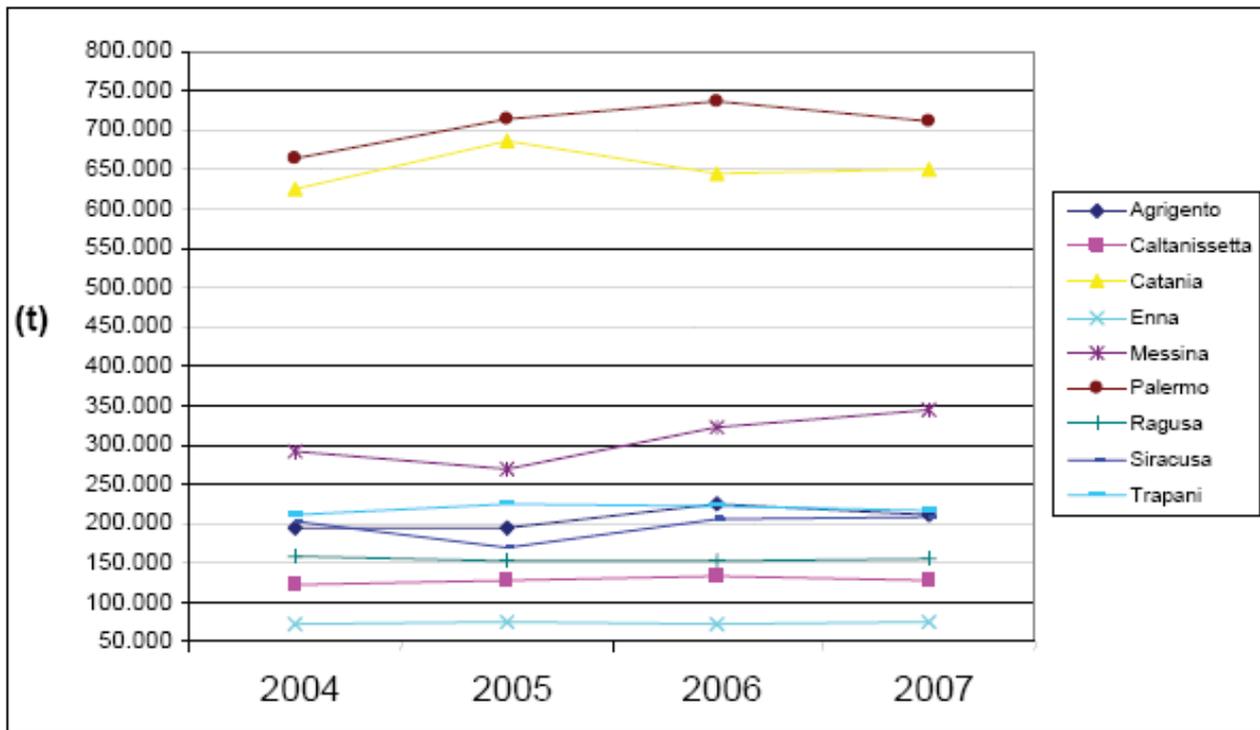



Fig. 1.10 – variazione della produzione dei rifiuti per singola Provincia Siciliana

Nella figura seguente sono rese per l'anno 2007 le percentuali di rifiuti prodotti in ciascuna provincia rispetto al totale regionale.

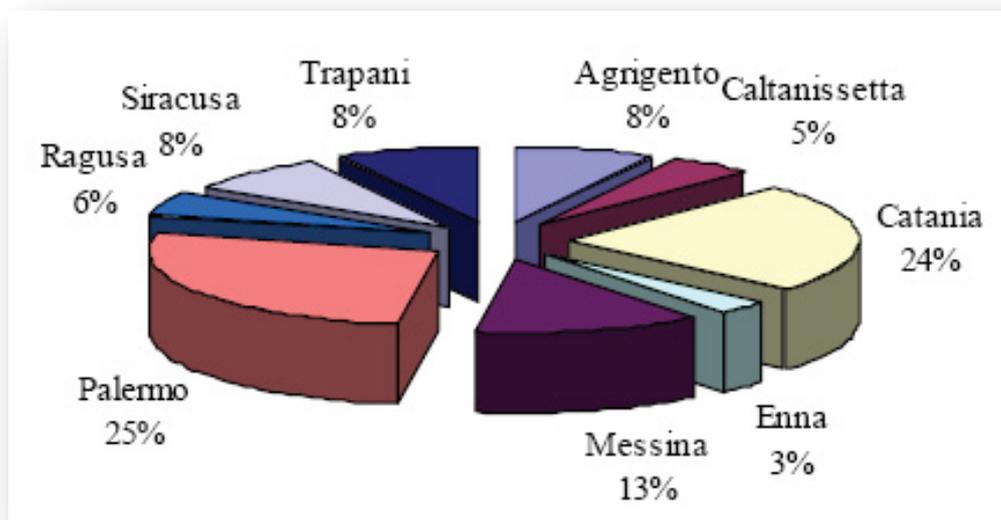



Fig. 1.11 – Produzione percentuale di rifiuti urbani per Provincia nel 2007 rispetto al totale regionale. Fonte dati: ISPRA – Elaborazione ARPA Sicilia - Sezione regionale del Catasto

Nella tabella 2 è riportata la produzione pro capite di rifiuti per ciascuna delle Province regionali nel periodo 2004 – 2007; nelle figure 1.12 e 1.13 sono evidenziate rispettivamente il trend della

produzione pro capite ed il raffronto tra il dato regionale e l'equivalente nazionale sempre nello stesso periodo.

Tabella 1.4 – Quantità pro capite annua di rifiuti urbani prodotti in Sicilia per Provincia nel periodo 2004-2007. Fonte dati: ISPRA – Elaborazione ARPA Sicilia - Sezione regionale del Catasto

Provincia	Produzione di rifiuti urbani pro capite (Kg/abitante)			
	2004	2005	2006	2007
Agrigento	425	427	494	463
Caltanissetta	448	467	486	467
Catania	583	639	599	600
Enna	417	426	423	430
Messina	445	410	495	525
Palermo	536	576	594	571
Ragusa	516	499	496	501
Siracusa	511	422	518	517
Trapani	487	516	509	495
Sicilia	**508**	**521**	**542**	**536**

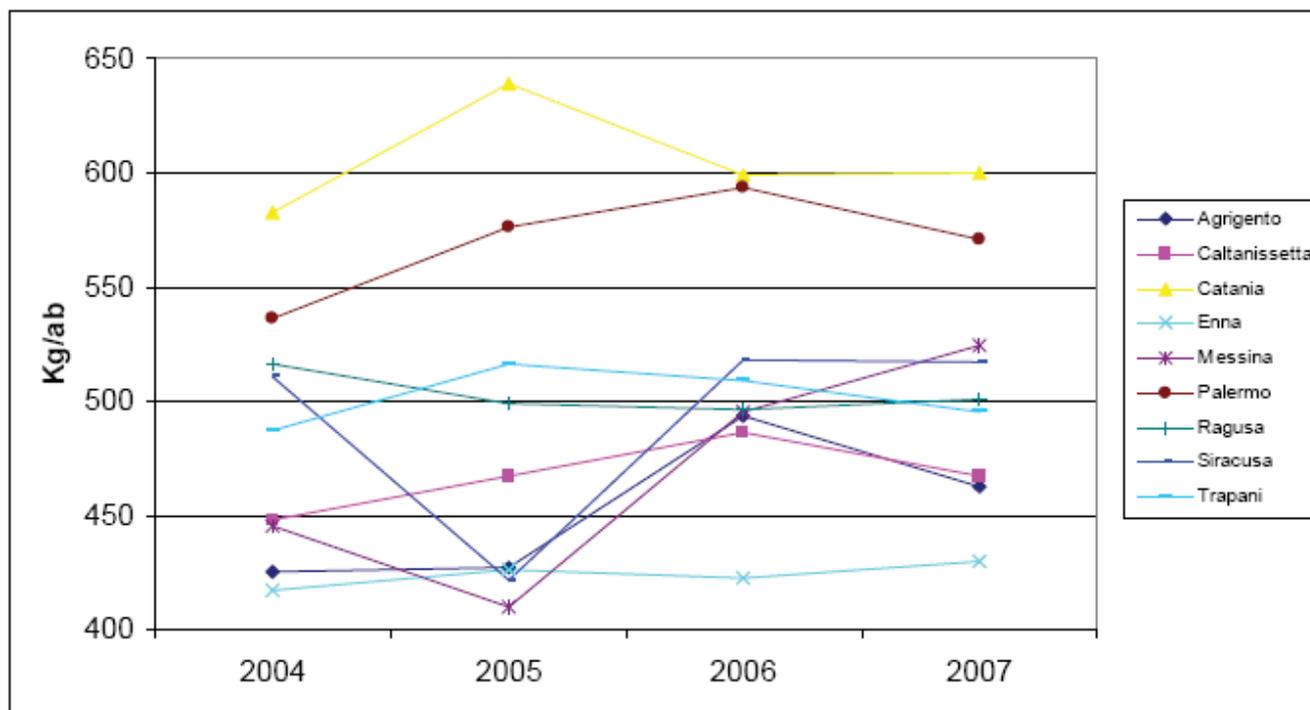



Fig. 1.12 – Trend della quantità pro capite di rifiuti urbani prodotti in ciascuna delle Province della Sicilia nel periodo 2004-2007. Fonte dati: ISPRA – Elaborazione ARPA Sicilia - Sezione regionale del Catasto

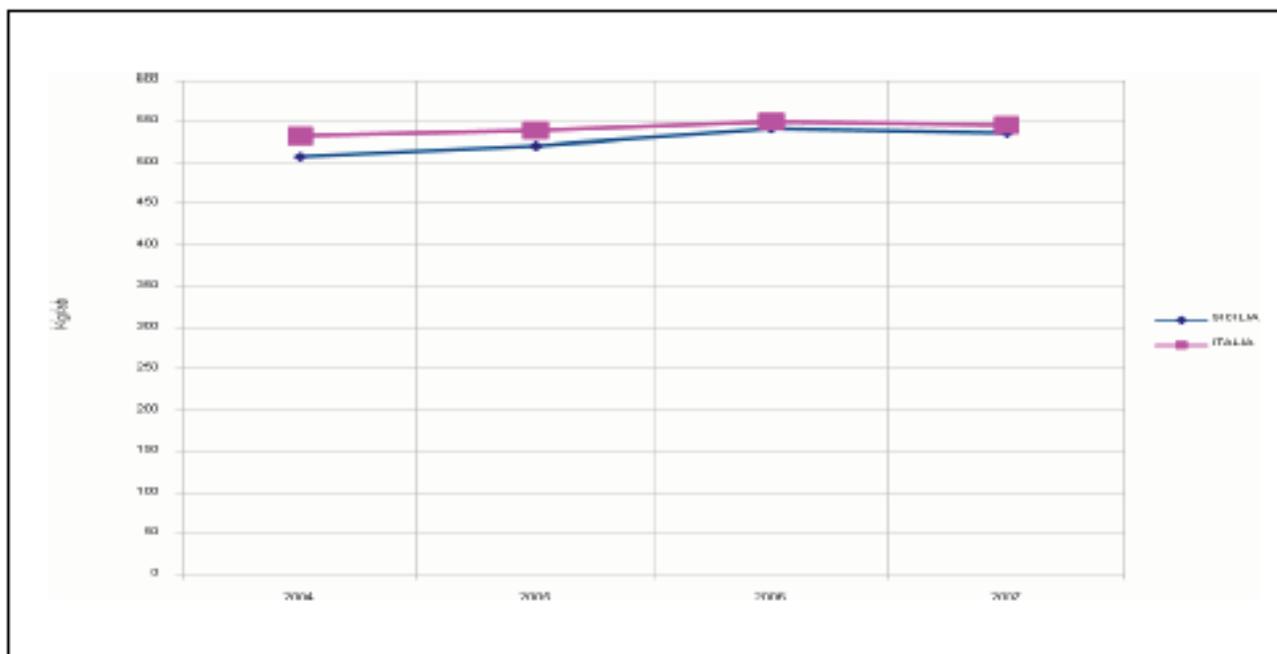



Fig. 1.13 – Trend della quantità pro capite di rifiuti urbani prodotti in Sicilia raffrontato con l'equivalente dato nazionale nel quadriennio 2004 – 2007. Fonte dati: ISPRA – Elaborazione ARPA Sicilia - Sezione regionale del Catasto

1.2.2 – Fase di gestione

La principale problematica rilevata nell'analisi dei dati sulla gestione dei rifiuti urbani riguarda la corretta computazione dei rifiuti che vengono avviati ad impianti di trattamento prima del definitivo recupero o smaltimento. Tali rifiuti infatti, una volta sottoposti a trattamenti di tipo meccanico-biologico sono identificati con codici 191212 (altri rifiuti compresi i materiali misti prodotti dal trattamento meccanico dei rifiuti), 191210 (rifiuti combustibili), 190501 (parte dei rifiuti urbani e simili non compostata, 190503 (compost fuori specifica) e classificati come rifiuti speciali. In molte Regioni si assiste a rilevanti movimentazioni di queste tipologie di rifiuti verso destinazioni extraregionali; tale prassi rende particolarmente difficili il monitoraggio del flusso dei rifiuti dalla produzione alla destinazione finale.

La quantificazione dei rifiuti urbani complessivamente gestiti, oltre che delle quantità avviate ai vari impianti di trattamento, quali compostaggio, digestione anerobica, ecc., tiene conto:

- dei quantitativi, provenienti dalla raccolta differenziata, che vengono avviati a riciclo. Tali quantità sono intese al netto degli scarti prodotti in fase di selezione;
- delle quantità di rifiuti che a seguito del trattamento di biostabilizzazione sono impiegati per la ricopertura delle discariche o avviati ad impianti di termovalorizzazione;
- dello stoccaggio delle cosiddette "eco balle" in Campania.

La gerarchia europea sulla gestione dei rifiuti, recepita nell'ordinamento italiano con il D.lgs. n. 205 del 2010, stabilisce che la scelta è rappresentata dalla prevenzione, seguita dal riutilizzo, dal riciclaggio e dal recupero di energia. Lo smaltimento in discarica rappresenta l'ultima alternativa praticabile in quanto destinata ad accogliere quella frazione di rifiuti che non può essere recuperata né in forma di materia che di energia. La figura e la tabella seguente riporta un diagramma a torta recante la ripartizione percentuale delle operazioni di recupero/smaltimento rispetto al totale dei rifiuti urbani gestiti nell'anno 2009. Appare evidente come lo smaltimento dei rifiuti in discarica,

rappresentando circa il 41 % della quantità di rifiuti complessivamente gestiti, sia ancora il trattamento maggiormente diffuso e praticato.

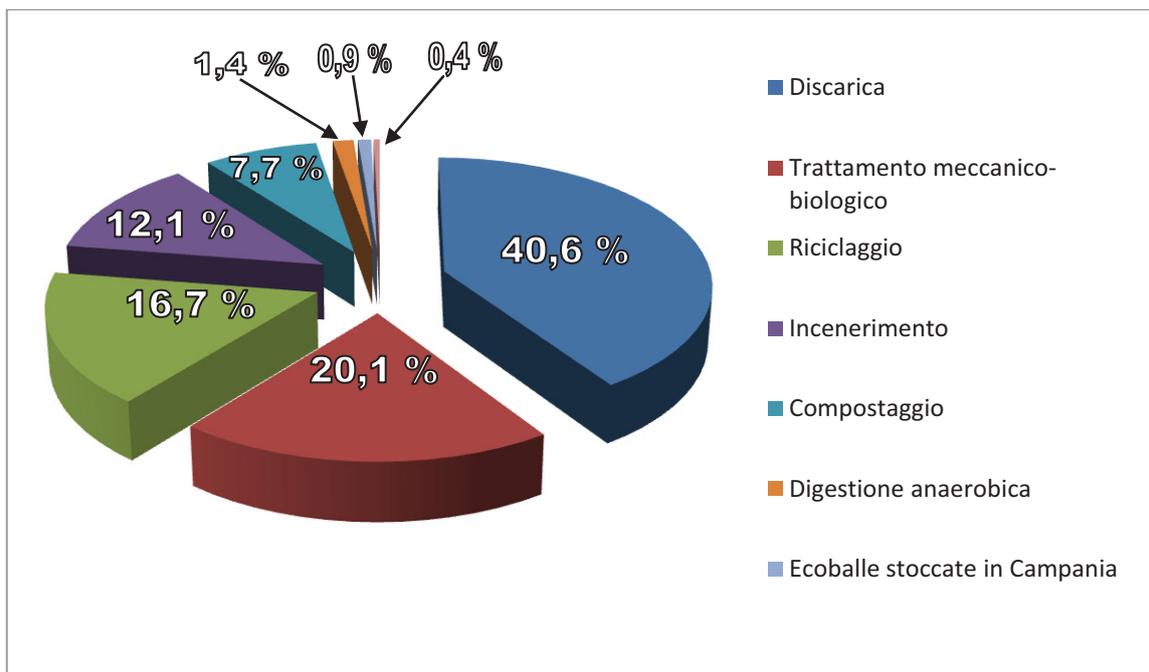



Fig. 1.14 – Ripartizione percentuale della gestione rifiuti nell'anno 2009. Fonte dati: ISPRA – Elaborazione personale

Va però precisato che ciononostante nel 2009 la quantità di rifiuti conferiti in discarica è diminuita del 4% rispetto al valore del 2008, mentre aumenta del 6% quella avviata a compostaggio e altre forme di recupero di materia. Tale miglioramento trova spiegazione nell'incremento della raccolta differenziata delle diverse frazioni merceologiche che, nel complesso, raggiunge il 33,6% del totale dei rifiuti prodotti. Le quantità di rifiuti indifferenziati avviati a trattamento biologico, condotto in presenza o assenza di Ossigeno, diminuiscono sia perché decresce del 5,6% la quota di rifiuti urbani indifferenziati, sia per una contemporanea riduzione della produzione totale di rifiuti.
Dato importante riguarda il fatto che frazioni merceologiche, raccolte in maniera differenziata, quali carta, plastica, vetro, acciaio e alluminio, legno, avviate nel 2009 ad impianti di riciclo, superano i 6 milioni di tonnellate registrando un incremento del 4,6 %. I rifiuti avviati ad impianti di digestione anaerobica passano dalle 461 mila tonnellate del 2008 alle 546 mila registrate nel 2009; il 98,8% di tale quantità di rifiuti è costituita dalle frazioni organiche della raccolta differenziata quali frazione umida e stralci di potatura. Ci si attende, comunque, ancora un incremento, nei prossimi anni delle quote di rifiuti avviate a tale tipo di trattamento; il censimento effettuato, infatti, evidenzia che molti impianti non sono stati ancora avviati o non lavorano a pieno regime. Il compostaggio di matrici selezionate, con un quantitativo complessivo di rifiuti urbani trattati pari a 2,9 milioni di tonnellate, fa registrare un incremento del 10%, evidenziando la crescita del settore che rimane, comunque, condizionata dagli scarsi risultati raggiunti dalla raccolta differenziata della frazione organica in molte aree del Paese. Il pro capite di raccolta di questa frazione raggiunge, a livello nazionale, i 62,0 kg per abitante mostrando un incremento di oltre 6 kg per abitante rispetto alla raccolta rilevata nel 2008. Il Nord con 93,1 kg per abitante, mostra ancora un miglioramento e appare notevolmente più avanzato del resto del Paese dove la raccolta della frazione organica, pur mostrando significativi sviluppi in alcune zone, ancora non risulta soddisfacente (43,5 kg al Centro e 31,6 kg al Sud). Il

quantitativo pro capite di frazione organica da rifiuti urbani avviata a compostaggio e digestione anaerobica, è pari a circa 57,5 kg per abitante a livello nazionale; al Nord arriva a 91,2 kg/abitante per anno, mentre si trattano 41,l kg per abitante al Centro e 22,3 kg al Sud. Le azioni prioritarie per migliorare la gestione dei rifiuti organici, sono elencate nella Comunicazione della Commissione Europea al Consiglio e al Parlamento europeo del Maggio 2010, che prevede prioritariamente la completa attuazione di quanto stabilito dalla direttiva 99/311CE e cioè la riduzione dello smaltimento in discarica dei rifiuti biodegradabili al 35% di quelli prodotti nel 1995, entro il 2016 (in Italia nel 2018) fino alla totale eliminazione dello smaltimento dei rifiuti organici non trattati. Tra le altre misure va incentivata la produzione di compost di qualità anche attraverso la definizione di specifici criteri "end of waste" ancora in fase di studio. L'insieme di queste misure, una volta operative dovrebbe sicuramente potenziare il recupero di materia dei rifiuti urbani. Si riducono le quantità di rifiuti urbani avviate a stoccaggio sotto forma di "ecoballe" in Campania che, nel 2009 interessa meno di 360 mila tonnellate di rifiuti (-68,4%), sia grazie all'entrata in funzione dell'inceneritore di Acerra che trattando oltre 239 mila tonnellate di rifiuti nello stesso anno, ha, in parte, assorbito le quote di rifiuti destinate allo stoccaggio e allo smaltimento, sia grazie all'incremento delle raccolte differenziate che nella Regione superano il 29%. Va, comunque, rilevato che i rifiuti avviati a stoccaggio dal 2002 permangano in questi siti, ancora in attesa di una destinazione finale e, a fine 2009, hanno raggiunto i 6,6 milioni di tonnellate. L'incenerimento dei rifiuti urbani interessa circa 4,6 milioni di tonnellate di rifiuti (+ 468 mila tonnellate) e rappresenta il 12, l % dei rifiuti gestiti, facendo registrare, rispetto al 2008, un incremento percentuale del 11,3%.

	utilizzo come fonte di energia	compostaggio	digestione anaerobica	incenerimento	trattamento meccanico biologico	discarica	ecoballe stoccate in Campania	recupero di materia
2007	0,2	6,1	0,6	10,2	22,5	43,5	2,6	14,3
2008	0,6	6,8	1,2	10,6	21,4	41,1	2,9	15,5
2009	0,4	7,7	1,4	12,1	20,1	40,6	0,9	16,7

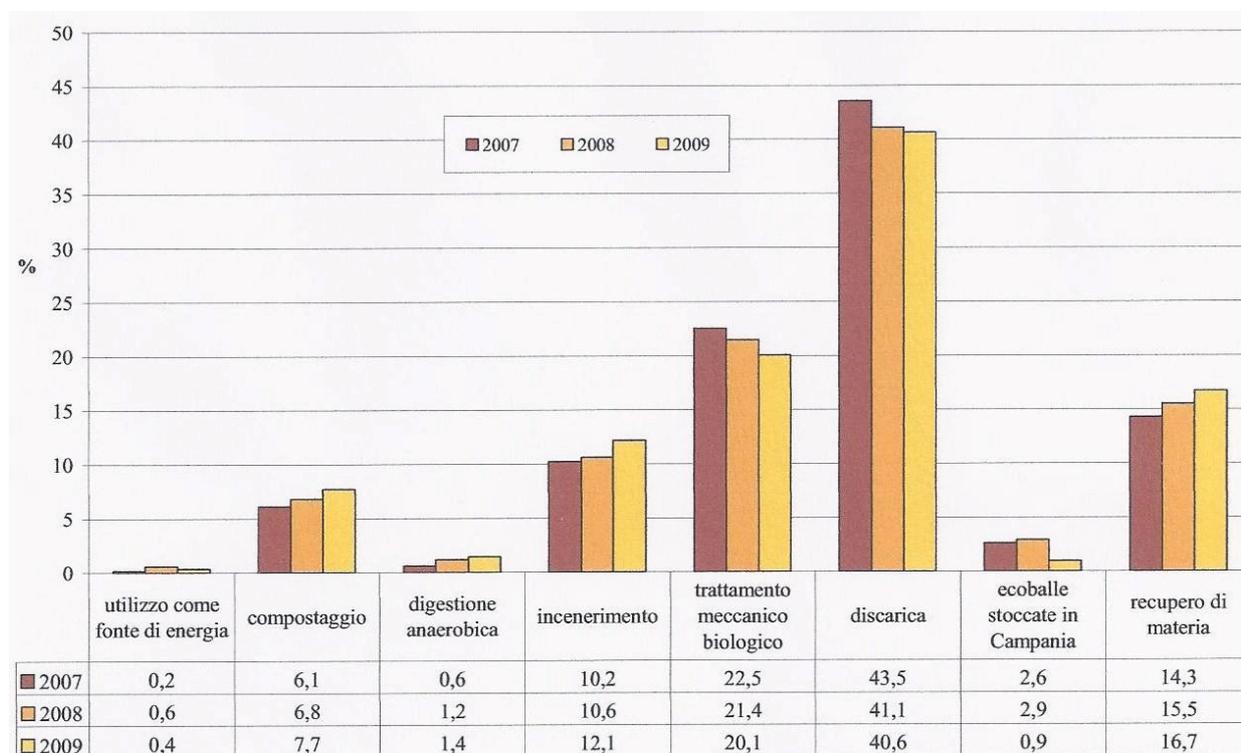



Fig. 1.15 – Variazione delle tipologie di gestione rifiuti nel triennio 2007-2009. Fonte dati: ISPRA

1.2.2.1 – SMALTIMENTO IN DISCARICA

I dati riportati e discussi nel presente paragrafo riguardano le discariche attive nel 2009 destinate ad

accogliere i rifiuti solidi urbani tal quali e quelli assimilabili agli urbani. Il numero delle discariche per rifiuti non pericolosi nel 2009 è pari a 224 e risulta inferiore di 20 unità rispetto al 2009, confermando la tendenza, da parte delle discariche di piccole dimensioni, a chiudere. Rimangono così operativi soltanto gli impianti più grandi a servizio di complessi di Comuni e Province e pertanto di aree geografiche più estese.
Le discariche di maggiori dimensioni sono spesso dotate di sistemi di pretrattamento dei rifiuti in entrata e si configurano sempre di più come strutture complesse dotate di impianti di recupero del biogas e di trattamento del percolato prodotto. Il numero degli impianti operativi è diminuito di 8 unità al Sud (delle quali 5 in Sicilia), di 5 al Centro e di 7 al Nord. Confrontando il numero delle discariche operative nel 2003, anno di entrata in vigore del decreto legislativo n.36, pari a 474, con quelle relative al 2009, si rileva che 250 impianti sono stati chiusi, l'83% dei quali al sud Italia (208 unità), 28 al Nord e solo 14 al Centro. I dati relativi al confronto appena descritto sono stati riportati nella tabella seguente.

Tabella 1.5 – Discariche per rifiuti solidi urbani per macroarea geografica dal 2004 al 2009

	n° impianti						Quantità smaltita (1000*t/a)					
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Nord	117	110	107	101	101	94	5.480	5.238	5.259	4.557	4.228	3.858
Centro	52	54	53	48	48	43	4.815	4.747	5.047	4.952	5.034	4.661
Sud	232	176	143	120	95	87	7.447	7.240	7.219	7.403	6.807	6.899
ITALIA	**401**	**340**	**303**	**269**	**244**	**224**	**17.742**	**17.225**	**17.526**	**16.912**	**16.069**	**15.418**

Fonte: ISPRA

Appare evidente, nel quadro che se ne ricava, l'influenza che ha avuto il superamento di situazioni emergenziali soprattutto nel sud del Paese, anche se, in alcuni contesti territoriali, la chiusura degli impianti non ha sempre portato ad una reale evoluzione del sistema verso soluzioni di tipo integrato, non accompagnandosi ad una corrispondente riduzione dello smaltimento in discarica in termini quantitativi. Si riscontra una sensibile diminuzione della quantità di rifiuti (ecoballe) stoccata in Campania che, nel 2009, si attesta a poco più di 358 mila tonnellate grazie all'entrata in funzione dell'inceneritore di Acerra che trattando oltre 239 mila tonnellate di rifiuti nello stesso anno, ha, in parte, assorbito le quote di rifiuti destinate allo stoccaggio. I rifiuti urbani smaltiti in discarica nel 2009 ammontano a oltre 15,4 milioni di tonnellate, facendo registrare, rispetto al 2008, una riduzione del 4%, pari a circa 650 mila tonnellate (vedi figura 1.16). Analizzando il dato per macroarea geografica, si osserva:

- una riduzione dell'8,7% al Nord e del 7,4% al Centro;
- un incremento, anche se contenuto, si rileva, invece, al Sud (+ 1,4%) pari a poco più di 92 mila tonnellate.

Nel computo delle quantità complessive di rifiuti di origine urbana allocate in discarica sono state inserite, come già evidenziato, anche le quantità di rifiuti, provenienti da impianti di pretrattamento (selezione, biostabilizzazione, ecc.), identificati con codici 191212, 191210, 190501, 190503. Circa 4,9 milioni di tonnellate di rifiuti provenienti dal circuito urbano, identificati con questi codici CER, arrivano agli impianti di discarica e rappresentano il 32% del totale dei rifiuti smaltiti.

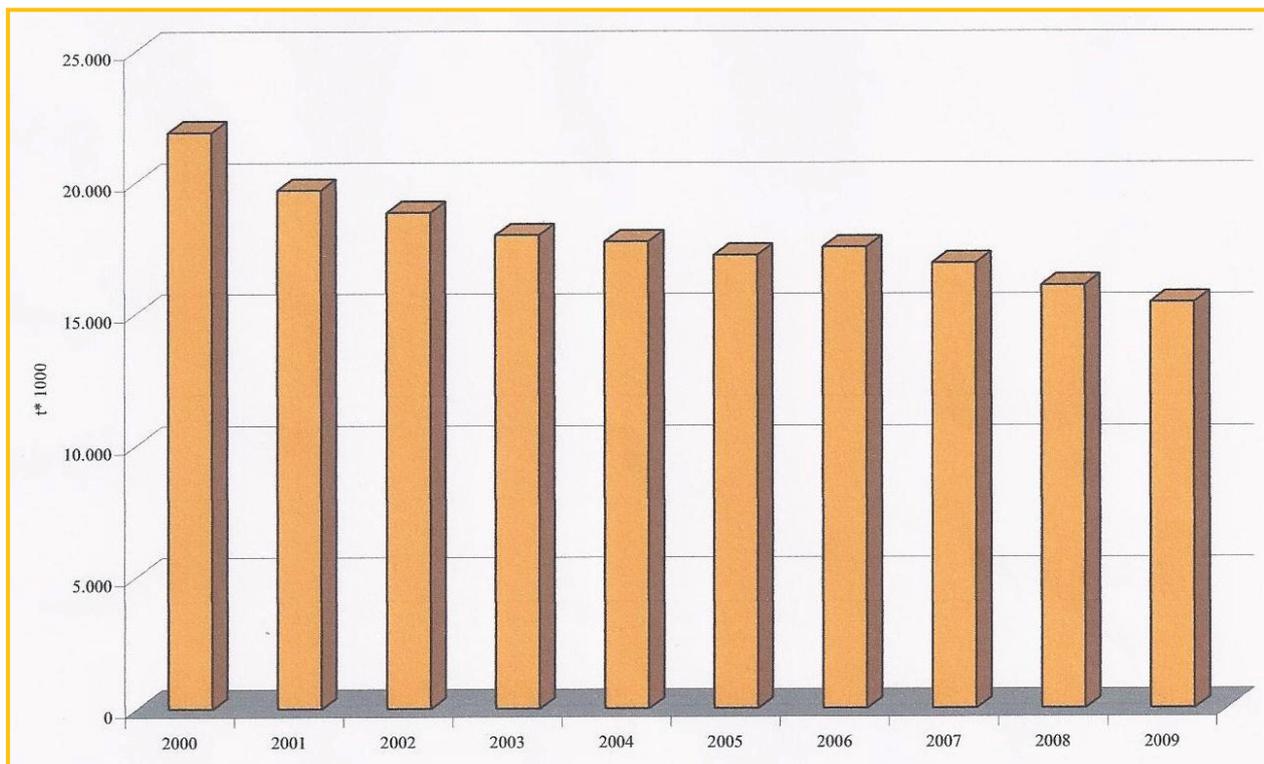



Fig. 1.16 – Andamento dello smaltimento in discarica dei rifiuti urbani nel decennio 2000-2009. Fonte dati: ISPRA

L'analisi dei dati per macro area geografica evidenzia che al Nord viene pretrattato il 35% dei rifiuti smaltiti in discarica, al Centro il 33% e al Sud il 30%. La diffusa riduzione delle quantità di rifiuti urbani smaltite in discarica, nel 2009, mostra un collegamento evidente con la diminuzione, rilevata nello stesso anno, nella produzione dei rifiuti urbani indifferenziati. Infatti, a fronte di una riduzione dello smaltimento in discarica, di circa 650 mila tonnellate, si rileva un calo della produzione di rifiuti indifferenziati di circa 1.194 mila tonnellate dovuto, in parte all'incremento della raccolta differenziata, che a livello nazionale è passata da 30,6% del 2008 al 33,6% del 2009, ed in parte alla diminuzione della produzione totale dei rifiuti corre lata alla riduzione dei consumi delle famiglie a causa della crisi economica registrata nello stesso periodo di riferimento. Esaminando lo smaltimento in discarica dei rifiuti urbani a livello regionale si evidenzia che l'incremento più consistente, pari a circa 416 mila tonnellate interessa la Campania. Va, infatti, rilevato che in questa regione, nel 2009, si è assistito a un nuovo utilizzo degli impianti di discarica a discapito dello stoccaggio che, rispetto al 2008, diminuisce del 68%. Riguardo ai siti di stoccaggio, va segnalato che questi hanno accolto, annualmente, a partire dall'anno 2002, quote importanti di rifiuti sottoforma di "ecoballe", superando, alla fine del 2009, i 6,6 milioni di tonnellate di rifiuti stoccati. Le ecoballe permangono in questi siti, in attesa di una destinazione finale, ormai da più di 12 mesi, oltre i quali, ai sensi della direttiva 99/311CE, il sito di stoccaggio dovrebbe essere considerato a tutti gli effetti come una discarica. La riduzione più consistente del ricorso alla discarica riguarda l'Emilia Romagna che, con circa 207 mila tonnellate in meno di rifiuti urbani avviati a tale forma di gestione, fa registrare un decremento del 17,4%. Parallelamente, nello stesso periodo di riferimento, in questa regione si assiste a un incremento delle quote di rifiuti urbani avviate a incenerimento (+15,8%). Al Nord si evidenziano riduzioni anche in Lombardia (-78.021 tonnellate), in Trentino Alto Adige (-47.376 tonnellate), in Veneto (-12.025 tonnellate) in Friuli Venezia Giulia (- 13.827 tonnellate) e Liguria (-20.259 tonnellate). Va, tuttavia, segnalato che in diversi casi i quantitativi di

rifiuti identificati dai codici 191212, 191210 derivanti dal trattamento dei rifiuti urbani sono stati interessati da movimentazioni extraregionali. A titolo esemplificativo si segnala che dal Friuli Venezia Giulia circa 31 mila tonnellate di rifiuti pretrattati sono smaltiti fuori regione. Al Centro, si assiste ad una diminuzione generalizzata dello smaltimento in discarica. In particolare in Toscana ed Umbria si verifica una riduzione dell' 11 %, nel Lazio del 6,5% e nelle Marche dell'1,1%. Al Sud, Sicilia, Puglia e Sardegna mostrano lievi miglioramenti ma solo in Sardegna tale andamento appare accompagnato da un corrispondente incremento della raccolta differenziata. La Lombardia, mantiene il primato di regione che smaltisce in discarica la percentuale inferiore di rifiuti urbani prodotti, pari al 7% del totale, facendo registrare ancora un lieve miglioramento rispetto al 2008. In questa Regione, infatti, sono avviate in discarica solo quote residuali dei rifiuti urbani prodotti per la gran parte pretrattati in impianti che ne migliorano la stabilità biologica. E' opportuno, comunque, evidenziare che, per le Regioni che avviano importanti quote di rifiuti urbani ad incenerimento, come nel caso della Lombardia (oltre 2 milioni di tonnellate di rifiuti), al fine di valutare l'intero ciclo di gestione, sarebbe più corretto considerare anche le quantità di rifiuti della combustione, classificati come speciali e smaltiti in discarica. Questa valutazione è stata condotta da ISPRA solo a livello nazionale a causa della difficoltà rilevata nel monitoraggio dei flussi extraregionali. Ottimi risultati, in termini di riduzione dello smaltimento, sono raggiunti anche in Friuli Venezia Giulia, che smaltisce in discarica il 14% dei rifiuti prodotti, in Veneto (22%) ed in Trentino Alto Adige (26%); in tutte queste regioni la raccolta differenziata raggiunge ottimi livelli. Al Centro e al Sud si registrano percentuali inferiori al 50% solo in Toscana (46%), in Campania (49%) e Sardegna (42%). In molte regioni, tuttavia, anche se la discarica è la forma di gestione prevalente, i rifiuti vengono smaltiti solo successivamente al trattamento; ad esempio, in Umbria, la percentuale dei rifiuti trattati raggiunge il 91 % del totale dei rifiuti smaltiti, in Abruzzo. 1'88%, in Molise il 76% e in Calabria il 62%. Confrontando il dato del 2008 con quello del 2009, si osservano consistenti miglioramenti in Sardegna, dove lo smaltimento in discarica passa dal 52% al 42% del totale dei rifiuti urbani prodotti, ed in Abruzzo che fa segnare un 60% rispetto all'80% del 2008. In queste regioni la raccolta differenziata fa registrare aumenti considerevoli raggiungendo il 42,5% in Sardegna ed il 24% in Abruzzo. Anche in Campania l'incremento della raccolta differenziata, che nel 2009 raggiunge il 29,3%, ha comportato un miglioramento del sistema, anche se, come evidenziato, quote rilevanti di rifiuti sono ancora stoccate in attesa di una destinazione definitiva e, la percentuale di rifiuti avviati in discarica rispetto al totale dei rifiuti prodotti, considerando queste quote raggiunge il 62%, contro il 49% rilevato. Il Lazio, con oltre 2,6 milioni di tonnellate di rifiuti, è la regione che smaltisce in discarica la maggiore quantità pari all'80% dei rifiuti prodotti. La sola provincia di Roma smaltisce in discarica oltre 2 milioni di tonnellate di rifiuti, di cui circa 1,5 milioni solo nel Comune di Roma. Sono, invece, Molise, Sicilia, e Liguria le Regioni che, come appare evidente nella tabella seguente, presentano la percentuale maggiore di rifiuti smaltiti in discarica rispetto al totale di quelli prodotti: rispettivamente 1'88% per le prime due e 1'83% per la Liguria.

*Tabella 1.6 – Quantità di rifiuti solidi urbani prodotti e smaltiti in discarica negli anni 2007-2009. Il quantitativo è espresso come tonnellate*1000*

	2007			2008			2009		
	produzione	smaltiti in discarica	%	produzione	smaltiti in discarica	%	produzione	smaltiti in discarica	%
Piemonte	2.270	1.029	45	2.258	934	41	2.245	936	42
Valle d'Aosta	76	48	64	77	48	62	79	53	67
Lombardia	4.932	479	10	5.022	408	8	4.925	330	7
Trentino Alto Adige	490	156	32	506	181	36	515	134	26
Veneto	2.372	689	29	2.415	535	22	2.372	523	22
Friuli Venezia Giulia	619	173	28	612	99	16	592	86	14
Liguria	981	901	92	988	837	85	978	817	83
Emilia Romagna	2.877	1.081	38	2.951	1.186	40	2.915	979	34
Nord	**14.617**	**4.557**	**31**	**14.829**	**4.228**	**29**	**14.621**	**3.836**	**26**
Toscana	2.553	1.292	51	2.545	1.291	51	2.474	1.148	46
Umbria	565	322	57	548	331	60	532	293	55
Marche	875	547	63	865	544	63	847	538	63
Lazio	3.360	2.790	83	3.344	2.869	86	3.333	2.682	80
Centro	**7.252**	**4.952**	**67**	**7.302**	**5.034**	**69**	**7.186**	**4.661**	**65**
Abruzzo	697	552	79	699	558	80	689	417	60
Molise	133	127	95	135	122	90	136	120	88
Campania	2.853	1.077	38	2.723	920	34	2.719	1.335	49
Puglia	2.148	1.957	91	2.135	1.704	80	2.150	1.581	74
Basilicata	245	178	73	228	182	80	225	178	79
Calabria	943	516	55	922	525	57	944	616	65
Sicilia	2.742	2.695	93	2.653	2.355	89	2.602	2.300	88
Sardegna	864	502	58	847	441	52	837	352	42
Sud	**10.579**	**7.403**	**70**	**10.343**	**6.807**	**66**	**10.303**	**6.899**	**67**
Italia	**32.548**	**16.912**	**52**	**32.474**	**16.069**	**49**	**32.110**	**15.418**	**48**

Fonte: ISPRA

In queste regioni lo smaltimento in discarica rappresenta ancora l'unica forma di gestione adottata e, in alcuni casi, come in Sicilia e in Molise, la raccolta differenziata stenta a partire. Anche analizzando il dato dello smaltimento pro capite, che consente di svincolare il dato dalla popolazione residente, si rilevano i valori più elevati in Liguria (505 kg/abitante per anno), Lazio (472 kg/abitante per anno), Sicilia (456 kg/abitante per anno) e Valle d'Aosta (417 kg/abitante per anno). Lombardia, Friuli Venezia Giulia, Veneto e Trentino Alto Adige rispettivamente con 34, 69, 106 e 130 kg/abitante*anno di rifiuti urbani smaltiti in discarica, dimostrano di aver effettivamente messo in atto un sistema di gestione dei rifiuti di tipo integrato, con elevati livelli di raccolta differenziata e con valide alternative alla discarica (Figura 1.17). Per quanto riguarda i rifiuti urbani biodegradabili, il D.lgs. n. 36/2003 prevede specifici obiettivi di riduzione progressiva dello smaltimento in discarica a breve (173 kg/anno per abitante entro il 2008), medio (115 kg/anno per abitante entro il 2011) e lungo termine (81 kg/anno per abitante entro il 2018). Nella figura 1.18 è riportato l'andamento del pro capite regionale di smaltimento dei rifiuti urbani nell' anno di riferimento, con l'indicazione della quota corrispondente ai rifiuti biodegradabili. Tale quota è stimata da ISPRA a partire dai valori riscontrati attraverso analisi merceologiche sui rifiuti collocati in discarica. Nel medesimo grafico è indicato anche il primo obiettivo di riduzione del conferimento di rifiuti biodegradabili in discarica, previsto dal citato D.lgs. n. 36/2003 entro il 2008.

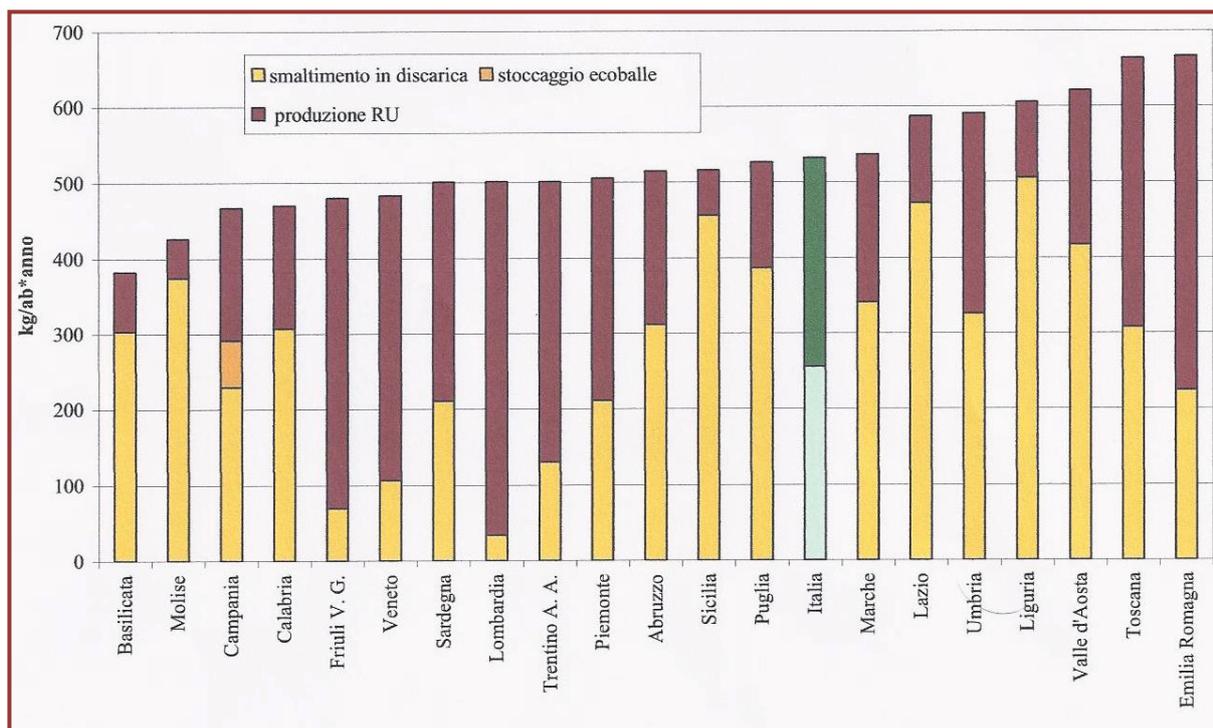



Fig. 1.17 – Quota procapite di rifiuti smaltiti in discarica sul totale procapite prodotto – anno 2009. Fonte dati: ISPRA

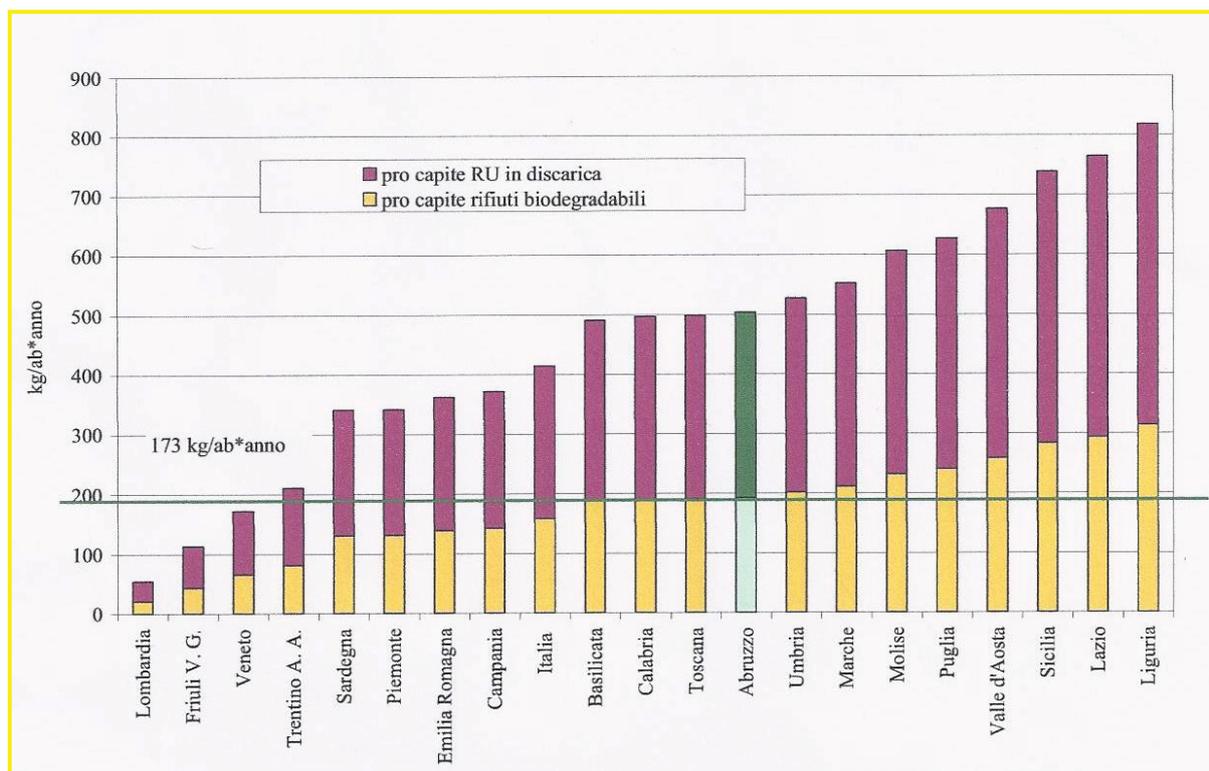



Fig. 1.18 – Smaltimento di rifiuti urbani procapite per Regione– anno 2009. Fonte dati: ISPRA

La riduzione progressiva dello smaltimento in discarica dei rifiuti urbani biodegradabili è una delle priorità della gestione dei rifiuti indicata dalla normativa europea, che oltre a prevedere specifici obiettivi nella direttiva discariche, ha indicato nella Comunicazione della Commissione al Consiglio

e al Parlamento Europeo relativa alle prossime misure in materia di gestione dei rifiuti organici", la strategia per la corretta gestione di questa particolare tipologia di rifiuti orientata alla totale eliminazione della messa in discarica degli stessi. La strategia italiana per la riduzione dello smaltimento in discarica dei rifiuti biodegradabili, identifica come tali le seguenti frazioni prodotte nel circuito urbano: frazione organica, verde, carta, legno e tessili. Nel 2009, in Italia, la loro raccolta differenziata al valore di circa 7,5 milioni di tonnellate. Nello stesso anno, circa 4,6 milioni di tonnellate di rifiuti urbani sono stati smaltiti in impianti di incenerimento con recupero di energia; tali forme di gestione contribuiscono, ovviamente, alla riduzione dello smaltimento in discarica di importanti quote di rifiuti biodegradabili. Il trattamento meccanico biologico ha, invece, interessato circa 7,6 tonnellate di rifiuti urbani indifferenziati. Tale trattamento, tuttavia, è utilizzato in maniera diffusa come forma di pretrattamento prima dello smaltimento in discarica, e campagne sperimentali, condotte su alcuni impianti, da ISPRA in collaborazione, rispettivamente, con Istituto Superiore di Sanità, Consorzio Italiano Compostatori (CIC), ARPA Toscana, ARPA Campania, hanno evidenziato che il rifiuto in uscita dagli impianti presenta, in molti casi, valori dell'Indice di Respirazione Dinamico ben più alti di 1.000 mg 02/kg VS/h, che rappresenta il valore di riferimento proposto a livello europeo per non considerare biodegradabile il rifiuto trattato. L'ISPRA, pertanto, nella stima della frazione biodegradabile smaltita in discarica, ha ritenuto di computare nel calcolo del pro capite di rifiuto urbano biodegradabile allocato in discarica anche le quote di rifiuti urbani pretrattati. Tale approccio metodologico, più conservativo, potrebbe condurre ad una sovrastima della quota di RUB smaltita in discarica, soprattutto nelle aree in cui il trattamento preliminare allo smaltimento ha un impiego più esteso. L'analisi dei dati evidenzia che 8 Regioni (Piemonte, Lombardia, Veneto, Friuli Venezia Giulia, Trentino Alto Adige, Emilia Romagna, Campania e Sardegna) hanno raggiunto l'obiettivo, fissato per l'anno 2008 (si rimanda il lettore alla figura 1.16). Di queste, solo la Campania e la Sardegna sono localizzate al sud Italia. Il ritardo mostrato, soprattutto al Centro e al Sud, è legato, essenzialmente, agli scarsi di raccolta differenziata della frazione biodegradabile che, mentre al Nord raggiunge il 15% del totale dei rifiuti prodotti, in queste aree del Paese rimane ferma al 4%. Va anche rilevato che, se nel dato della Campania vengono sommate allo smaltimento in discarica, anche le quote di rifiuti stoccate sotto forma di "ecoballe", il valore del pro capite dello smaltimento dei rifiuti biodegradabili per questa regione sale a 181 kg per abitante. Tale approccio risulterebbe giustificato considerando che, come evidenziato, questi stoccaggi si protraggono nel tempo e nei rifiuti stoccati risulta ancora presente una quota consistente di frazione biodegradabile dal momento che, nel 2009, essi, nella quasi totalità dei casi, vengono sottoposti alla sola tritovagliatura. Lombardia, Friuli Venezia Giulia, Veneto e Trentino Alto Adige sono già al disotto sia dell'obiettivo fissato per il 2011, che di quello fissato per il 2018. Se ne deduce che le Regioni che, attraverso una corretta programmazione, hanno attivato sistemi di gestione integrata continuano ad ottenere performance di riduzione della frazione biodegradabile m discarica sempre più elevate. E’ comunque importare ricordare che in Italia l'obiettivo di riduzione dello smaltimento della frazione dei RUB deve essere conseguito per Ambito territoriale ottimale, come indicato dall'art. 5 del D.lgs. n. 36/2003, mentre nella normativa europea, il target è riferito all'intero territorio nazionale dei Paesi membri e deve essere calcolato come percentuale dei RUB smaltiti in discarica, sul totale dei rifiuti biodegrdabili prodotti nel 1995 dai singoli Paesi. Qualora si voglia considerare come riferimento il pro capite di frazione biodegradabile, riferito all'intero territorio nazionale, tale valore, per l'anno di riferimento, risulta pari a 158 kg/abitante, quindi inferiore al valore obiettivo stabilito dalla normativa italiana.

Applicando, invece, quanto stabilito dalla direttiva 99/311CE, i RUB smaltiti in discarica devono essere inferiori a 12.567.000 tonnellate pari al 75% dei rifiuti biodegrdabili prodotti nel 1995, valore assunto come riferimento. Il totale dei rifiuti urbani biodegradabili smaltiti in discarica, nel 2009, è pari a 9.559.254 tonnellate ampiamente al disotto del valore soglia. L'analisi dei dati evidenzia, quindi, che lo smaltimento in discarica di questa tipologia di rifiuti è stato ridotto di una quota ben più ampia di quella prevista per il raggiungimento del primo target dalla direttiva 99/311CE (riduzione al 57% anziché al 75%), e vicino all'obiettivo intermedio che prevede una riduzione del 50% entro il 2011.

1.2.2.2 IL SISTEMA DISCARICHE IN SICILIA

1.2.2.2.1 Analisi delle discariche esistenti

In questo paragrafo sono riportati e discussi i dati, estratti dal rapporto tecnico intitolato "Produzione e gestione dei rifiuti solidi urbani in Sicilia redatto dall'ARPA nell'Aprile 2010, relativi allo smaltimento in discarica di rifiuti solidi urbani nella Regione Sicilia sino al 2007. La tabella 1.7 e la figura 1.19 recano il confronto a livello regionale per gli anni 2002-2007 la quantità di rifiuti solidi urbani smaltiti in discarica rispetto a quella prodotta, evidenziando l'incidenza di tale tipologia di smaltimento, di cui la figura 1.20 mostra il trend.

Tabella 1.7– Quantità di rifiuti urbani smaltita in discarica rispetto al totale prodotto nel periodo 2002-2007

Anno	Produzione totale di rifiuti urbani (t)	Smaltimento in discarica di rifiuti urbani	
		Totale (t)	Rispetto al totale prodotto (%)
2002	2.520.782	2.319.792	92
2003	2.576.660	2.317.677	90
2004	2.544.316	2.428.498	95
2005	2.614.076	2.372.797	91
2006	2.717.967	2.545.688	94
2007	2.695.198	2.494.000	94

Fonte: Elaborazione ARPA Sicilia su dati ISPRA

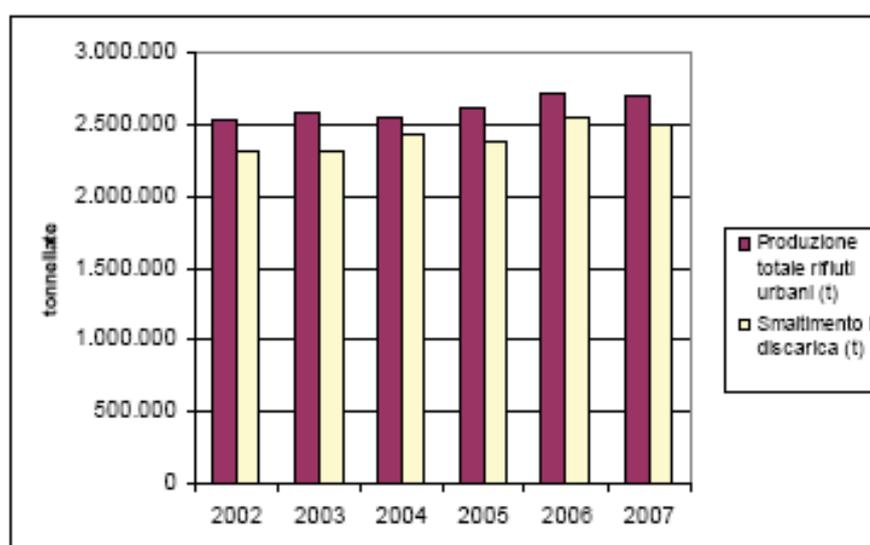



Fig. 1.19 – Quantità di rifiuti urbani smaltita in discarica rispetto al totale prodotto nel periodo 2002-2007 – Fonte: Elaborazione ARPA Sicilia su dati ISPRA

La tabella e le figure che seguono riportano la quantità di rifiuti urbani smaltiti in discarica nel periodo 2003 - 2007 nelle nove Province siciliane ed il relativo trend.

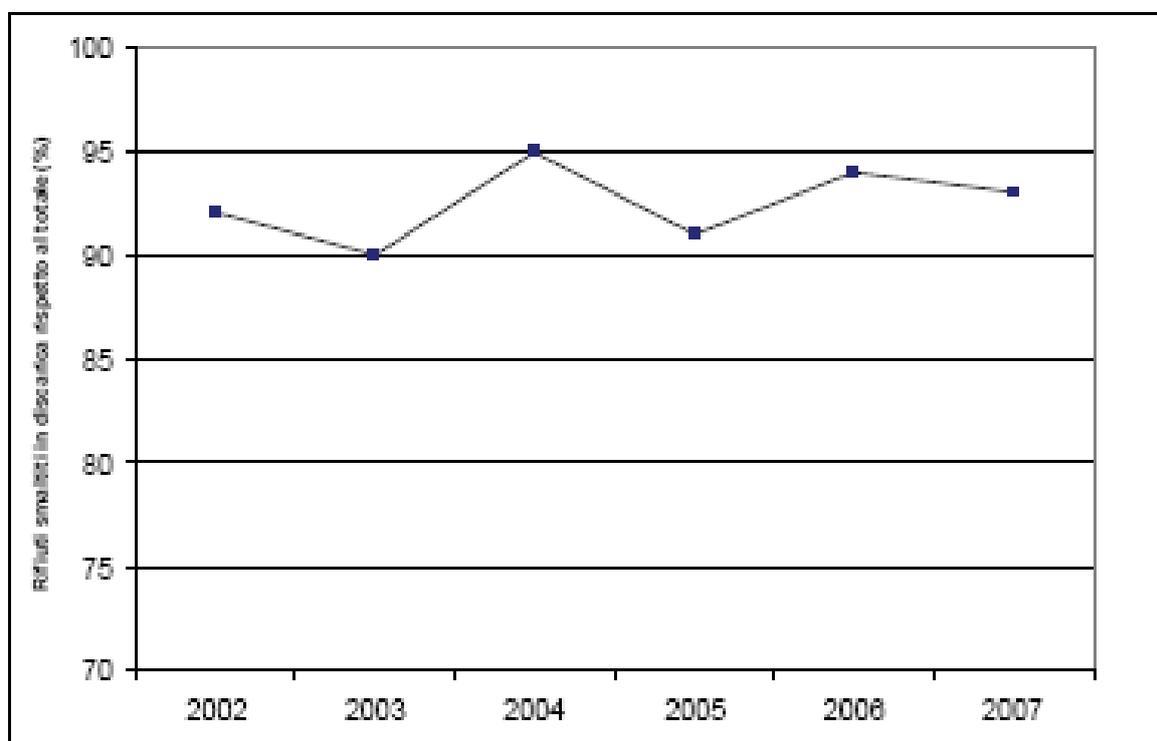



Fig. 1.20 – Trend della quantità di rifiuti urbani smaltiti in discarica nel periodo 2002 - 2007– Fonte: Elaborazione ARPA Sicilia su dati ISPRA

Tabella 1.8 – Quantità di rifiuti urbani smaltita in discarica nel periodo 2003-2007 in Sicilia ed in ciascuna delle Province regionali

Anno / Provincia	Quantità smaltite in discarica (t.)				
	2003	2004	2005	2006	2007
Agrigento	165.633	153.605	169.566	202.721	260.478
Caltanissetta	113.120	117.280	120.935	71.194	16.936
Catania	551.346	628.799	640.972	730.190	823.817
Enna	64.110	59.262	68.778	66.231	64.440
Messina	271.638	284.276	275.565	362.808	226.898
Palermo	656.401	669.356	667.121	737.330	680.749
Ragusa	137.291	135.864	134.755	138.591	119.300
Siracusa	186.719	188.072	102.398	51.215	115.496
Trapani	171.420	191.984	192.707	185.408	185.901
Sicilia	**2.317.677**	**2.428.498**	**2.372.797**	**2.545.688**	**2.494.000**

Fonte: Elaborazione ARPA Sicilia su dati ISPRA

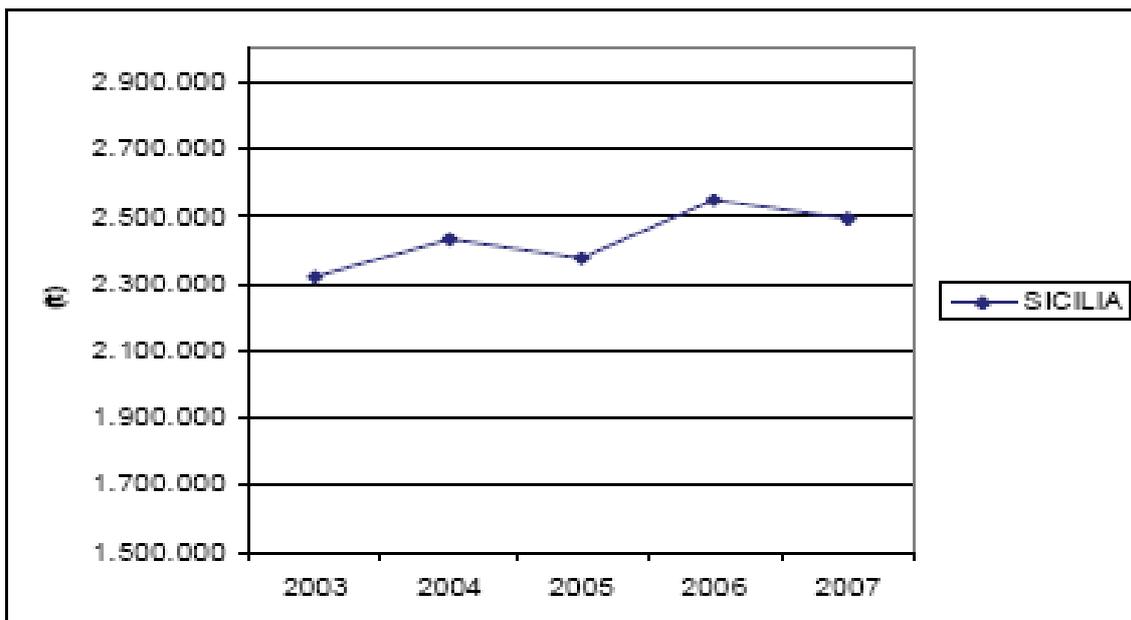



Fig. 1.21 – Trend della quantità di rifiuti urbani smaltiti in discarica nel periodo 2003 – 2007 in Sicilia Fonte: Elaborazione ARPA Sicilia su dati ISPRA

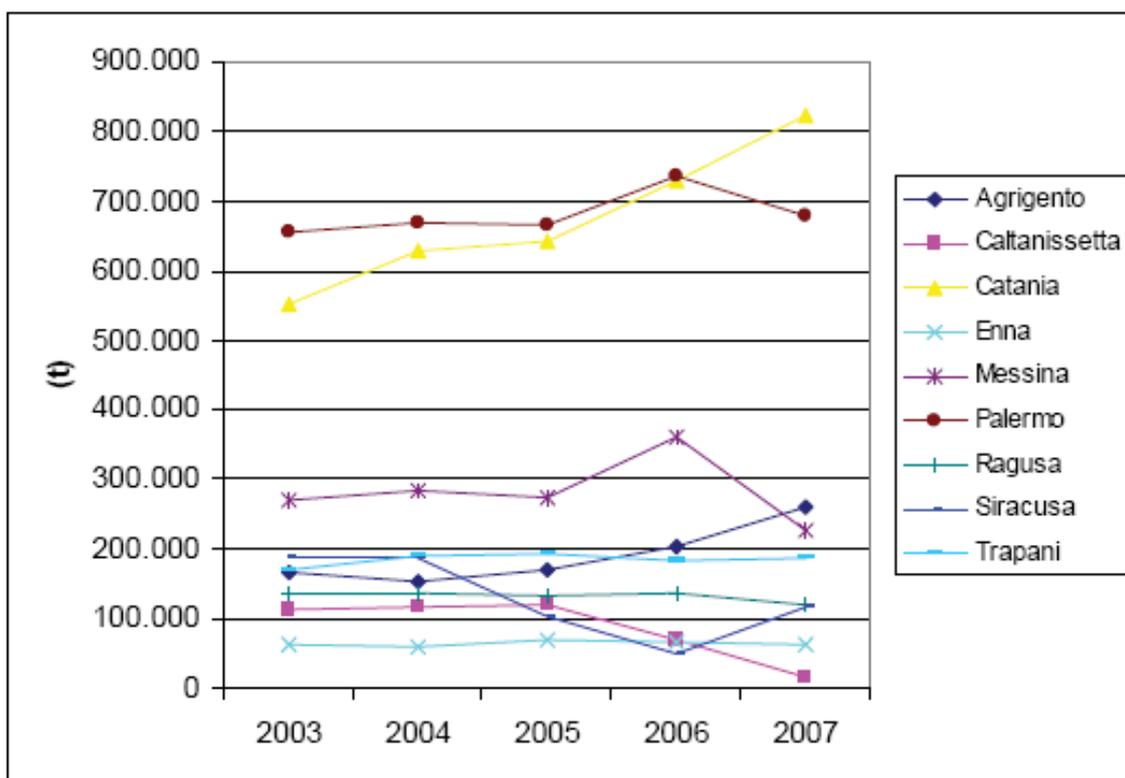



Fig. 1.22 – Trend per Provincia della quantità di rifiuti urbani smaltiti in discarica nel periodo 2003 – 2007 Fonte: Elaborazione ARPA Sicilia su dati ISPRA

Nel 2007 si è registrato un lieve decremento della quantità di rifiuti urbani smaltita in discarica ed anche la percentuale di tali rifiuti rapportata a quella dei rifiuti urbani prodotti è leggermente scesa, passando tra il 2006 ed il 2007, dal 94% al 93% circa. Va evidenziato comunque che, diversamente da quanto previsto dal Piano dei rifiuti del 2002, durante tutto il periodo 2002 – 2007 la percentuale

di rifiuti urbani smaltiti in discarica rispetto a quelli prodotti si è mantenuta costantemente sopra il 90%. Osservando i dati riportati nella tabella seguente appare evidente come il numero totale delle discariche di RSU in Sicilia è stato in continua diminuzione essendo passato, nel quadriennio 2004-2007, da 93 a 28.

Tabella 1.9 - Numero di discariche di rifiuti urbani in esercizio nel periodo 2004-2007

	2004	2005	2006	2007
Agrigento	22	10	7	3
Caltanissetta	3	3	2	2
Catania	4	4	3	2
Enna	6	4	4	2
Messina	32	21	9	3
Palermo	9	6	4	4
Ragusa	3	3	3	3
Siracusa	9	8	5	4
Trapani	5	5	5	5
Sicilia	**93**	**64**	**42**	**28**

Fonte: Elaborazione ARPA Sicilia su dati ISPRA

Nel mese di febbraio 2010 sono stati aggiornati dalle Strutture Provinciali di ARPA i dati sulle discariche in esercizio nell'intero territorio regionale, riportati nella sottostante tabella 10 con l'indicazione della localizzazione (Provincia, Comune e Contrada), della proprietà (pubblica/privata), della durata dell'autorizzazione, del numero di comuni serviti e dei volumi e/o del peso dei rifiuti autorizzati e residui in mc (si è considerato 1 mc = 1t) e abbancati giornalmente in t.

Tabella 1.10 - Discariche in esercizio a febbraio 2010 nel territorio regionale . Fonte: ARPA Sicilia – Sezione Regionale del Catasto Rifiuti

Comune	Provincia	Località (C.da)	Proprietà	Scadenza autorizzazione	Comuni serviti		Volumi		
					N°	Abitanti (x 1000)	Autorizzato (mc x 1000)	Residuo (mc x 1000)	Ricevuto (t/g)
Siculiana	AG	Materano	Pr	07.04.13	62	600	1240	300	520
Sciacca	AG	Salinella	Pb	31.07.10	17	128	165	28	120
Gela	CL	Timpazzo	Pb	16.12.13	7	142	418	400	108
Motta S. Anastasia	CT	Tiriti	Pr	26.06.12	148	1.130	1623	115	1414
Catania	CT	Grotte S. Giorgio	Pr	09.07.13	34	789	1893	80	1200
Enna	EN	Cozzo Vuturo	Pb	30.06.14	20	177	330	100	230
Palermo	PA	Bellolampo	Pb	Art.191 D.Lgs. 152/06	24	1.100	m 530 s.s.l.	2/3 mesi	1600
Partinico	PA	Baronia	Pb	03.11.14	12	120	92	60	500
Castellana Sicula	PA	Balza di Cetta	Pb	Art.191 D.Lgs. 152/06	13	42	600	460*	200
Ragusa	RG	Cava dei Modicani	Pb	20.04.10	6	130	177	168	210
Vittoria	RG	Pozzo Bollente	Pb	23.03.14	6	180	34	225	in esauri-mento
Augusta	SR	Coste di Gigia	Pr	14.10.14	21	400	966	561	561
Campobello di Mazzara	TP	Campana Misiddi	Pb	21.06.10	11	138	500	160	160
Trapani	TP	Borranea	Pb	25.06.13	9	110	240	60	180

Pr = Privata - Pb = Pubblica; *alla data del 07.02.2009

La figura 1.23 mostra la localizzazione delle discariche di cui sopra in tabella con simboli proporzionali alle quantità gestite ed ai volumi residui; si rileva che in Provincia di Messina non è attiva alcuna discarica. Si fa osservare che tra le discariche in esercizio 10 risultano di proprietà di soggetti pubblici, mentre 4 di soggetti privati; a fronte della prevalenza di impianti pubblici, alla data del rilevamento, i Comuni serviti da discariche private sono pari a 265, quelli serviti dalle discariche pubbliche sono 125.

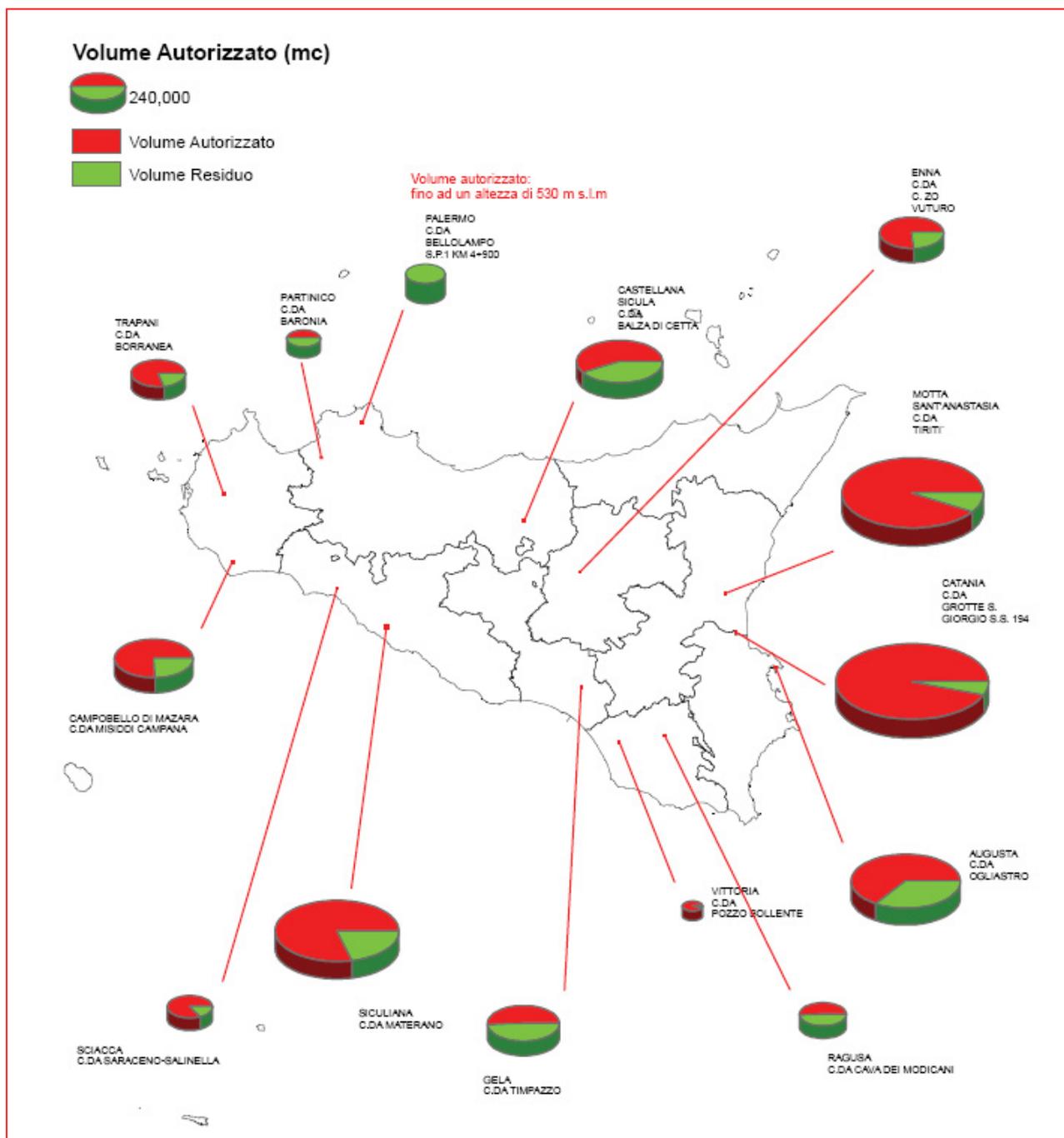



Figura 1.23 – Localizzazione delle discariche in esercizio (febbraio 2010) - ARPA Sicilia – Sezione Regionale del Catasto Rifiuti

1.2.2.2.2 Nuovi volumi di abbancamento

La tabella seguente riporta l'elenco di nuovi impianti e/o di potenziamento di impianti esistenti in corso di realizzazione o già autorizzati o in corso di autorizzazione; la tabella evidenzia che sono stati autorizzati e/o sono in corso di autorizzazione 12 nuovi volumi di abbancamento in adiacenza per la maggior parte a discariche esistenti, già sature o in esaurimento.

Tabella 1.11 – Elenco di nuove discariche e/o di casi di potenziamento di discariche esistenti

Comune	Prov	Località (C. da)	Richiedente	Volume (mc)	Procedure	Lavori
Siculiana	AG	Materano	Catanzaro Costruzioni S.r.1 (Pr)	2.937.000	AIA n. 1362 del 23.12.2009	Da avviare
Sciacca	AG	Salinella Saraceno	SO.GE.I.R (Pb)	160.000	AIA 1321 del 21.11.2008	In corso
Motta S. Anastasia	CT	Tiriti	OIKOS S.p.A (Pr)	2.538.000	AIA n° 221 del 19.03.2009	In corso
Catania	CT	Grotte S. Giorgio	Sicula Trasporti (Pr)	860.000	AIA n° 209 del 12.03.209	Da avviare
Palagonia	CT		Comune Palagonia (Pb)	95.000	In corso	
Mazzarà S. Andrea	ME	Zuppa	Tirreno Ambiente S.p.A. (Pr)	1.720.000	AIA n° 393 del 22.05.09	Da avviare
Pagliara	ME	Carrubbara	Tirreno Ambiente S.p.A. (Pr)	500.000	In corso	
Sant'Agata	ME		CO.GE.I.R. s.r.l. (Pr)	707.706	In corso	
Palermo	PA	Bellolampo	AMIA (Pb)	1.900.000	Decreto Prefett. n 23 del 08.09.2009.	In corso
Scicli	RG	S. Biagio	ATO Ragusa Amb.te (Pb)	120.000	In corso	
Vittoria	RG	Pozzo Bollente	ATO Ragusa Amb.te (Pb)	120.000	In corso	
Alcamo	TP	Vallone Monaco	Comune di Alcamo (Pb)	120.000	AIA n° 11 del 26.01.2010	Da avviare

Fonte: ARPA Sicilia 2010 – Catasto rifiuti

La tabella 1.12 riassume invece il numero ed i volumi delle discariche in corso di esecuzione, autorizzate e con richiesta di autorizzazione da soggetti pubblici e privati.

Tabella 1.12 – Numero e volumi delle nuove discariche autorizzate e con richiesta di autorizzazione

Soggetti richiedenti	Discariche					
	Autorizzate in corso di realizzazione		Autorizzate con lavori da avviare		Con richiesta di autorizzazione	
	numero	volume(mc)	numero	volume(mc)	numero	volume(mc)
Pubblici	2	2.060.000	1	120.000	3	335.000
Privati	1	2.538.000	3	5.517.000	2	1.207.706
Totale	3	4.598.000	4	5.637.000	5	1.542.706

Fonte: ARPA Sicilia – Sezione Regionale del Catasto Rifiuti

A completezza di quanto trattato nel presente paragrafo, si riporta di seguito un immagine recante la collocazione sul tessuto regionale dei nuovi impianti già autorizzati.

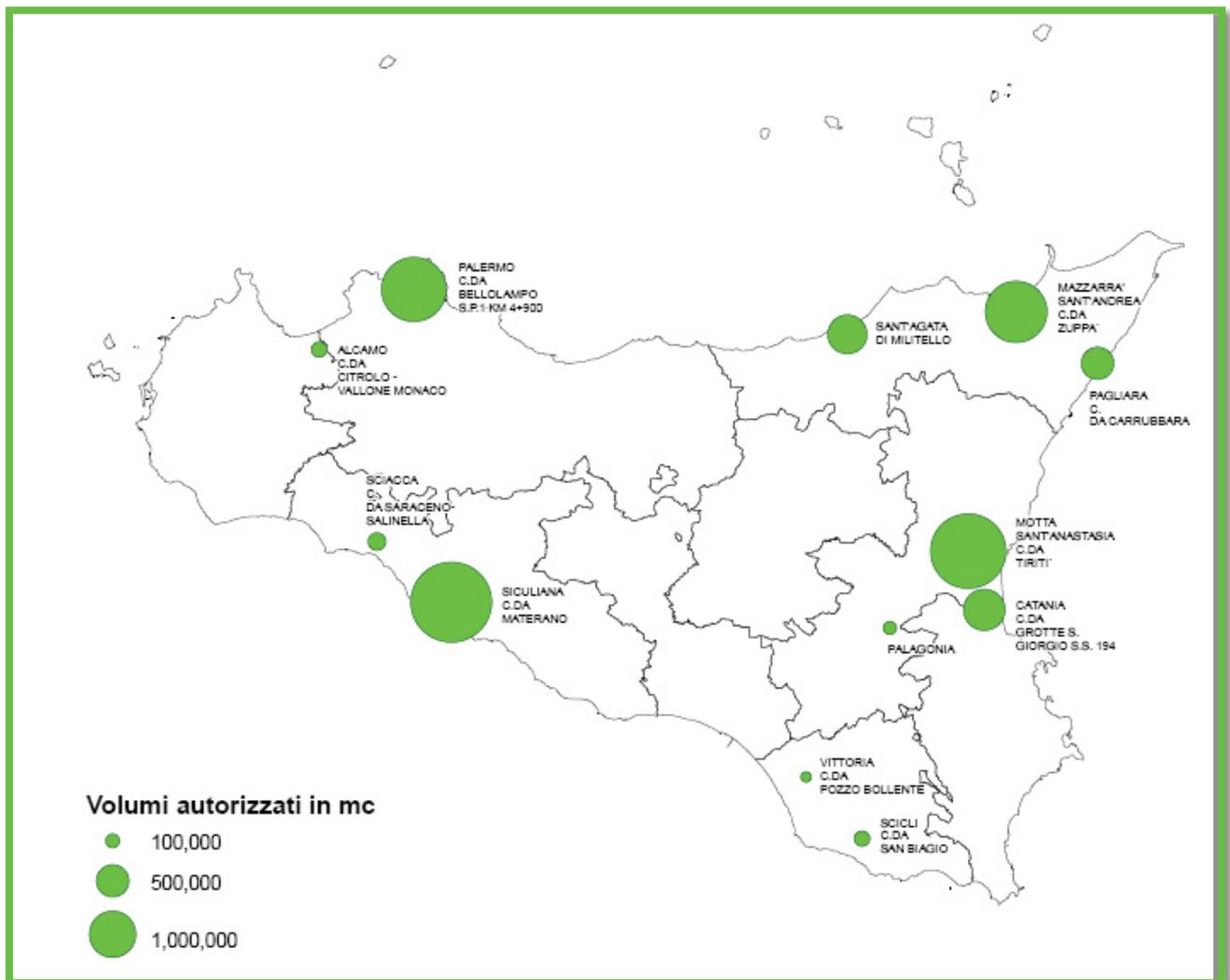



Figura 1.24 – Localizzazione delle discariche autorizzate (febbraio 2010) - ARPA Sicilia – Sezione Regionale del Catasto Rifiuti

1.3 L' Italia nel contesto Europeo

Nel presente paragrafo vengono illustrati i principali dati disponibili relativi alla produzione e gestione dei rifiuti urbani nei Paesi Membri dell'Unione Europea indicati di seguito come UE 27. Con la sigla UE 15 invece si fa riferimento ai Paesi membri prima del 2004, anno in cui l'Unione Europea si è allargata accogliendo dieci nuovi Stati tra i quali Slovenia, Ungheria, Malta, Repubblica Ceca, Slovacchia, Polonia, Lituania, Lettonia, Estonia e Cipro, mentre Bulgaria e Romania sono entrate a far parte dell'UE dal 1 gennaio 2007.

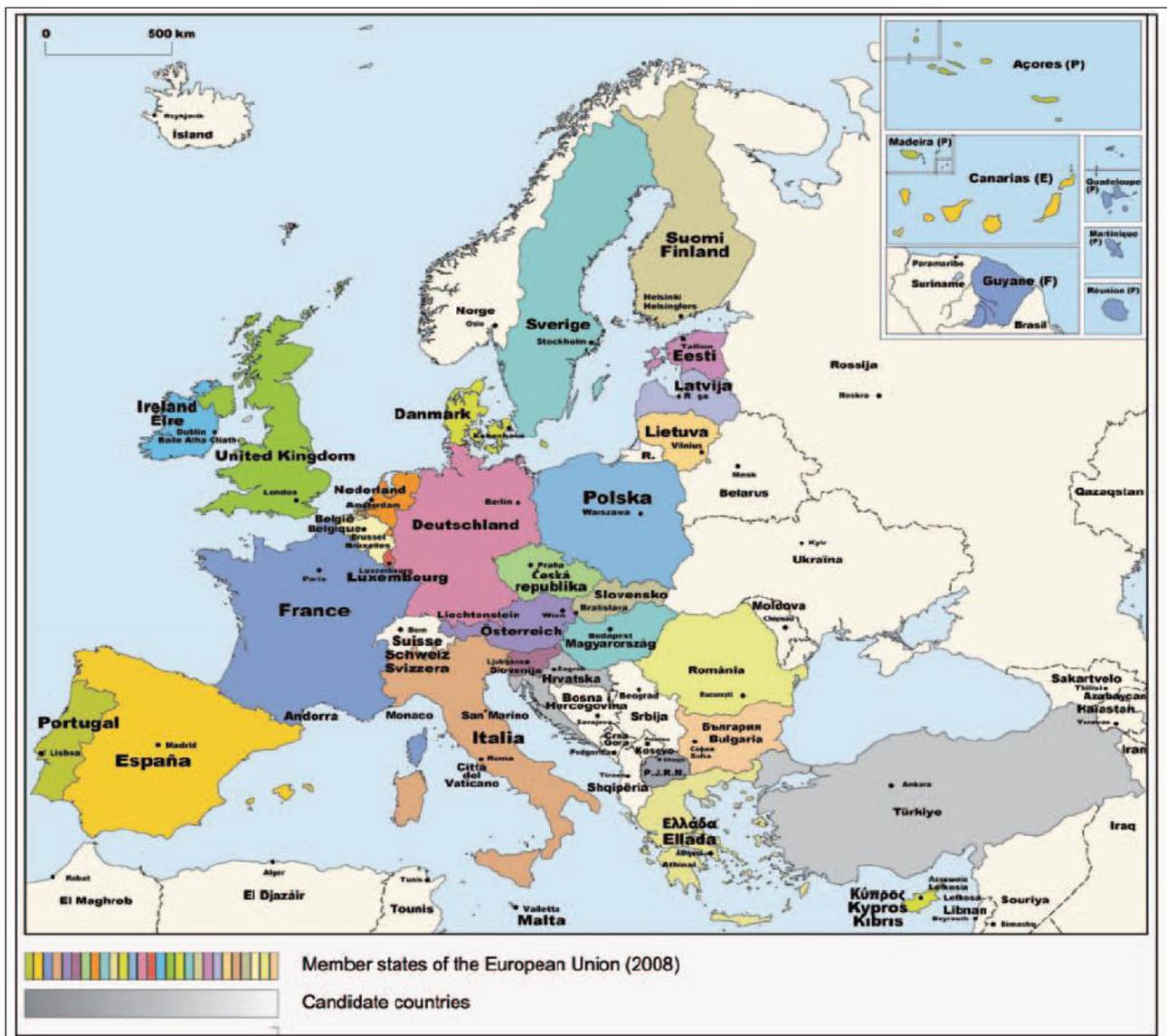



Fig. 1.25 - Stati appartenenti all'UE

Le fonti analizzate al fine di quantificare i dati inerenti alla produzione ed alla gestione dei rifiuti sono costituite principalmente dalle pubblicazioni Eurostat (l'Ufficio Statistico delle Comunità Europee)incaricato di gestire, a livello europeo, le informazioni relative ai rifiuti, creando un apposito "Environmental Data Centre on Waste", a cui collaborano anche la DG Ambiente della Commissione Europea, il Joint Research Centre (JRC) e l'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA).
Negli ultimi tempi sono state intraprese numerose iniziative a livello europeo per migliorare la qualità dei dati relativi al settore rifiuti, da sempre afflitti da numerosi problemi di contabilità e reporting, ottenendo il risultato di poter finalmente disporre, per alcune tipologie di rifiuti, dati confrontabili, affidabili ed aggiornati. Si rileva che, comunque, Per alcuni Paesi è necessario ricorrere ancora a stime. Per quanto riguarda i rifiuti totali, la qualità dei dati disponibili è ancora lontana dal poter essere definita completa e soddisfacente, sebbene si notino miglioramenti, dovuti all'entrata in vigore del regolamento sulle statistiche dei rifiuti (Reg. 2150/2002/CE). Stando a quanto riporta l'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA) nel rapporto "L'ambiente in Europa – La quarta valutazione – Belgrado 2007" è possibile stimare la produzione totale di rifiuti nell'UE a 25

Stati membri, tra 1.750 e 1.900 milioni di tonnellate all'anno, che corrispondono a circa 3,8 – 4,1 tonnellate di rifiuti prodotti pro capite all'anno. Le difficoltà legate alla qualità e comparabilità dei dati diminuiscono sensibilmente per quanto riguarda i rifiuti urbani, che costituiscono circa il 14% del totale dei rifiuti prodotti in ambito europeo. Per essi è possibile disporre di informazioni valide per ogni Stato membro, in particolare per gli Stati UE 15, dove i sistemi di contabilità e di reporting sono maggiormente consolidati. Gli ultimi dati disponibili a livello europeo per i rifiuti urbani sono relativi all'anno 2007.

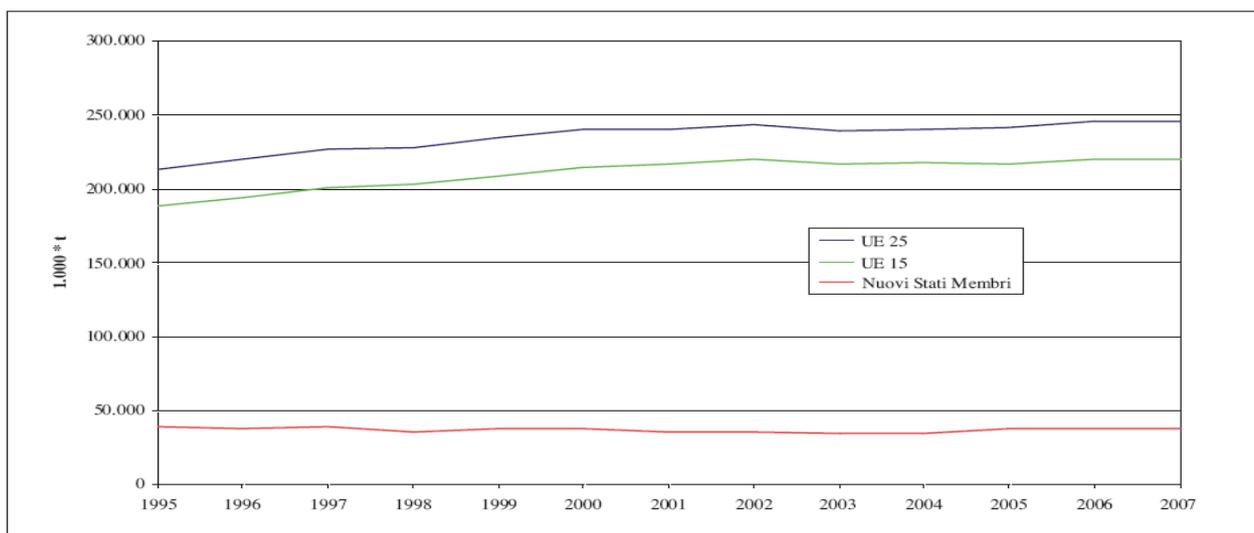



Fig. 1.26 - Andamento della produzione dei RU nell'UE (Fonte ISPRA)

La serie storica dei dati Eurostat relativi agli anni 1995-2007 mostra una leggera ma costante crescita della produzione dei rifiuti urbani negli Stati UE 15, correlabile coll'aumento della ricchezza, del reddito disponibile dei consumatori, e dell'adozione di standard di vita che richiedono progressivamente un maggior utilizzo delle risorse naturali. La figura sotto riportata entra nel dettaglio della produzione dei rifiuti urbani, riportando le serie storiche delle quantità prodotte negli Stati membri nel periodo 1995-2007.

Tabella 1.13 - Produzione dei RU nell'UE 27 (Fonte: ISPRA)

Paese/ anno		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
UE 27		**226.528**	**232.303**	**239.522**	**238.775**	**246.072**	**252.482**	**252.284**	**255.645**	**251.188**	**251.377**	**253.839**	**257.724**	**258.199**
UE 25		**212.932**	**219.763**	**227.366**	**228.426**	**234.865**	**240.297**	**240.742**	**243.335**	**239.661**	**240.221**	**241.979**	**245.887**	**246.424**
UE 15		**188.039**	**194.217**	**200.916**	**202.693**	**208.715**	**214.497**	**216.756**	**219.543**	**216.408**	**217.345**	**216.412**	**219.694**	**220.201**
Austria	AT	3.476	4.110	4.241	4.240	4.496	4.646	4.634	4.914	4.932	5.047	5.084	5.396	4.951
Belgio	BE	4.576	4.548	4.715(a)	4.670(a)	4.754(a)	4.856(a)	4.795(a)	5.041(a)	4.859(a)	5.083(a)	5.034(a)	5.073(a)	5.211(a)
Danimarca	DK	2.959	3.253	3.104	3.141	3.329	3.546	3.519	3.568	3.618	3.757	3.990	4.021	4.364(a)
Finlandia	FI	2.109(a)	2.100(a)	2.300	2.400	2.500	2.600	2.412	2.384	2.428	2.453	2.506	2.600	2.675
Francia	FR	28.253	28.950	29.677	30.449	30.612	31.232	32.198	32.684	31.724	32.560	33.350	33.879	34.309
Germania	DE	50.894(a)	52.544(a)	53.966(a)	53.058(a)	52.373(a)	52.810(a)	52.075(a)	52.772	49.622	48.434	46.555	46.426	46.448(a)
Grecia	EL	3.200	3.600	3.900	4.082	4.264	4.447	4.559	4.640	4.710	4.781	4.853	4.927	5.002
Irlanda	IE	1.848	1.898(a)	2.000(a)	2.057	2.168(a)	2.279	2.704	2.720	2.918	3.001	3.041	3.385	3.398
Italia	IT	25.780	25.960	26.605	26.846	28.364	28.959	29.409	29.864	30.034	31.150	31.664	32.508	32.548
Lussemburgo	LU	240	242	253	266	278	285	285	291	306	311	313	321	331(a)
Paesi Bassi	NL	8.469	8.728	9.180	9.280	9.436	9.769	9.830	10.019	9.885	10.161	10.178	10.167	10.308
Portogallo	PT	3.855	4.003	4.080	4.275	4.486	4.813	4.846	4.538	4.649	4.570	4.694	4.804	5.007(a)
Regno Unito	UK	28.900	29.750	31.042	31.697	33.392	33.954	34.945	35.532	35.242	36.122	35.121	35.479	34.780
Spagna	ES	20.076	21.125	22.174	22.423	24.470	26.505	26.616	26.404	27.270	25.746	25.683	26.209	26.154
Svezia	SE	3.405	3.405	3.678	3.810	3.794	3.796	3.929	4.172	4.211	4.169	4.347	4.500	4.717
NUOVI STATI MEMBRI		**38.488**	**38.086**	**38.606**	**36.082**	**37.357**	**37.985**	**35.528**	**36.102**	**34.780**	**34.032**	**37.428**	**38.030**	**37.998**
Cipro	CY	387	421	433	448	458	470	490	500	518	540	553	571	587
Rep. Ceca	CZ	533(a)	565(a)	593(a)	557	569	604	509	553	567(a)	606	587(a)	627(a)	719(a)
Estonia	EE	657	650	621	597	584	642	713	793	695	720	716	942	861
Lettonia	LV	1.546(a)	1.445(a)	1.510(a)	1.578(a)	1.236(a)	1.276(a)	1.313	1.395	1.328	1.260	1.287	1.326	1.354
Lituania	LT	146	156	167	177	181	208	212	214	231	250	251	253	266
Malta	MT	10.985(a)	11.621(a)	12.183(a)	11.827(a)	12.317	12.226	11.109	10.509	9.925	9.759	12.169	12.235	12.264
Polonia	PL	3.120	3.200	3.280	3.017	3.365	3.434	2.798	2.845	2.857	2.841	2.954(a)	3.039(a)	3.025(a)
Slovacchia	SK	1.580	1.479	1.477	1.396	1.408	1.369	1.286	1.524	1.599	1.475	1.558	1.623	1.669
Slovenia	SI	1.186	1.175(a)	1.170(a)	1.159	1.090(a)	1.020(a)	953	812	834	833	845	866	886
Ungheria	HU	4.752	4.834	5.016	4.976	4.943	4.552	4.603	4.646	4.700(a)	4.592	4.646	4.711	4.594
Bulgaria	BG	5.838	5.165	4.809	4.103	4.141	4.224	4.003	3.945	3.916	3.673	3.688	3.446	3.593
Romania	RO	7.758	7.375	7.347	6.246	7.066	7.961	7.539	8.365	7.611	7.483	8.173	8.392	8.183(a)
PAESI CANDIDATI														
Turchia		27.234		31.944	32.973	30.470	30.617	31.031	30.999	31.081	29.736	31.352	30.082	30.000
PAESI EFTA														
Islanda		114	2.761	120	123	126	130	133	137	140	147	153	171	174
Norvegia		2.722	4.280	2.721	2.858	2.650	2.755	2.860	3.061	3.170	3.313	3.498	3.680	3.859
Svizzera		4.240	4.280	4.330	4.370	4.560	4.730	4.790	4.940	4.920	4.900	4.940	5.330	5.460

La figura di seguito riportata illustra l'andamento negli ultimi 5 anni della produzione di rifiuti urbani nei Paesi dell'UE 27. Si può notare che cinque Stati Membri (Germania, Regno Unito, Francia, Italia e Spagna) producono circa il 67,5% dei 258 milioni di tonnellate di rifiuti urbani prodotti nel 2007 nei 27 Paesi membri dell'Unione.

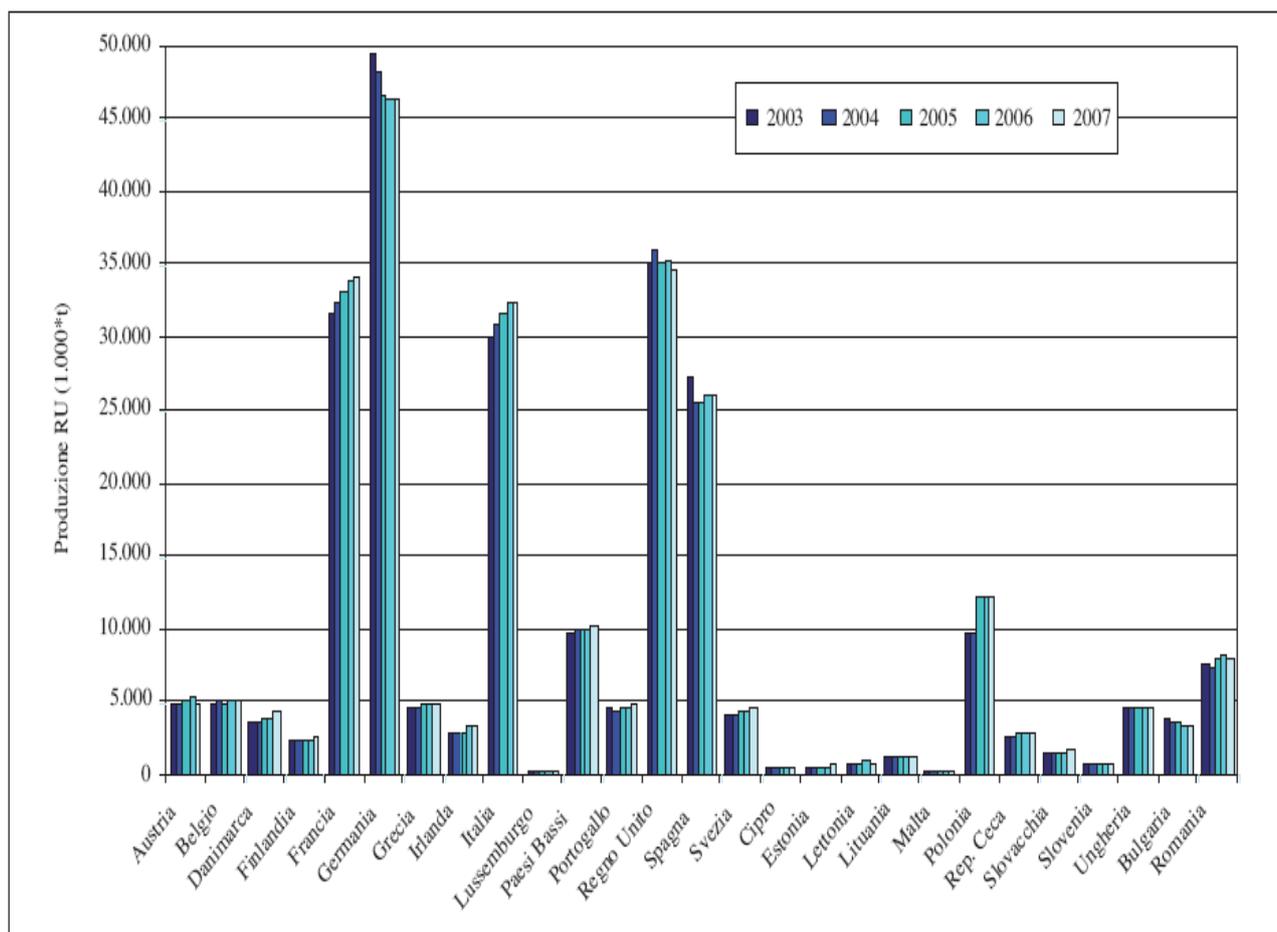



Fig. 1.27 - Produzione dei RU nell'UE 27, negli anni 2004-2007 (Dati ISPRA)

Prendendo in considerazione i paesi UE 15, la produzione pro capite di rifiuti urbani ha raggiunto un valore medio di circa 563 kg per abitante, mostrando di essere aumentata, nel periodo 1995-2007, di circa l'11,3%. L'analisi della produzione pro capite dei nuovi Stati membri, che generalmente mostrano valori tendenzialmente inferiori rispetto alla maggior parte degli Stati UE 15, evidenzia valori elevati per Cipro e Malta (rispettivamente 754 e 652 kg/abitante per anno): una possibile motivazione potrebbe essere l'elevato flusso turistico che caratterizza questi Paesi. La frazione merceologica più rilevante nei 27 Stati membri risulta essere quella costituita dagli imballaggi cellulosici, che registra una produzione di rifiuti, per l'anno 2007, pari a circa 32 milioni di tonnellate, corrispondenti al 40 % del totale dei rifiuti generati. I rifiuti di imballaggio in vetro ammontano a circa 16,5 milioni di tonnellate (20 % del totale) mentre la plastica ed il legno si attestano, rispettivamente, a 15 milioni di tonnellate (18 %) e 13,1 milioni di tonnellate (16%).

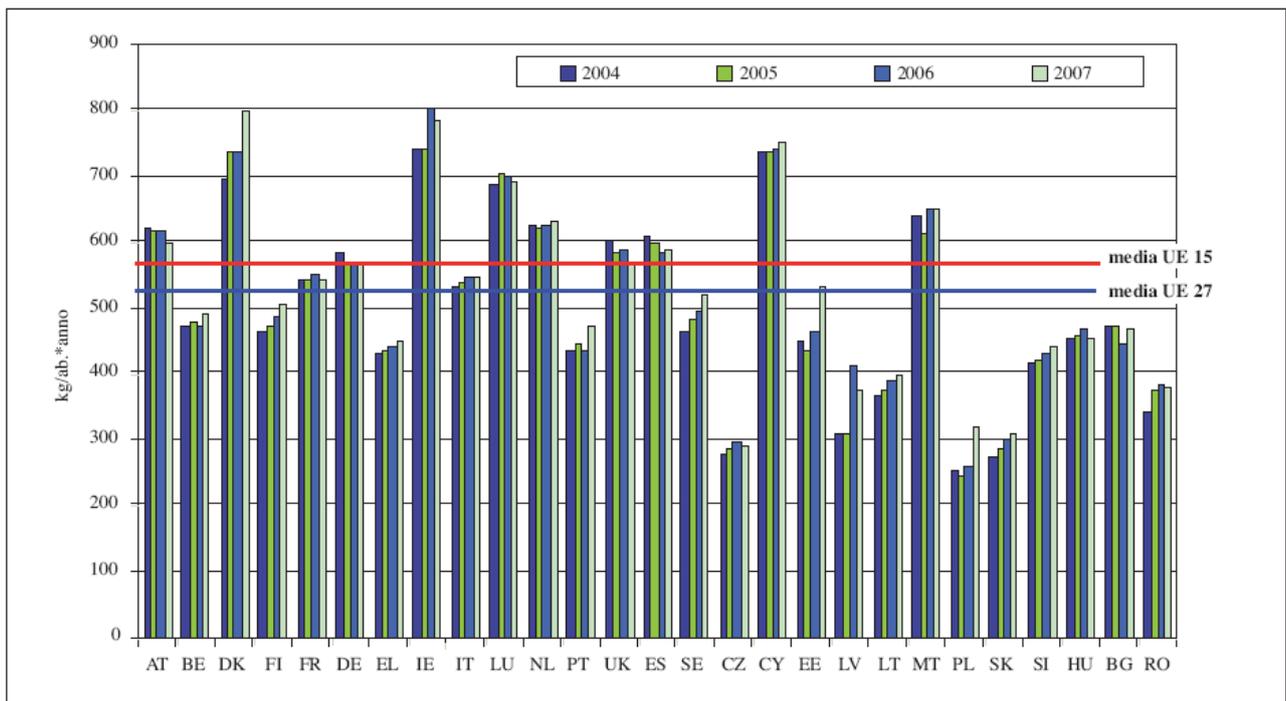



Fig. 1.28 - Evoluzione temporale della produzione dei RU pro capite dell' UE27 (Fonte ISPRA)

	AT	BE	DK	FI	FR	DE	EL	IE	IT	LU	NL	PT	UK	ES	SE
2003	1.160	1.624	957	616	12.334	15.466	1.014	820	11.621	88	3.394	1.406	10.059	7.375	1.423
2004	1.102	1.632	949	650	12.383	15.517	1.038	851	11.977	93	3.214	1.430	10.230	7.444	1.480
2005	1.111	1.659	983	689	12.361	15.471	1.061	925	11.834	99	3.349	1.498	10.280	7.798	1.512
2006	1.166	1.666	971	677	12.668	16.133	1.056	1.028	12.174	105	3.445	1.733	10.471	8.007	1.420
2007	1.185	1.669	979	696	12.797	16.113	1.050	1.056	12.541	102	3.469	1.713	10.610	8.420	1.443

Fig. 1.29 - Andamento della produzione di imballaggio UE15, anno 2003-2007 (Fonte: ISPRA)

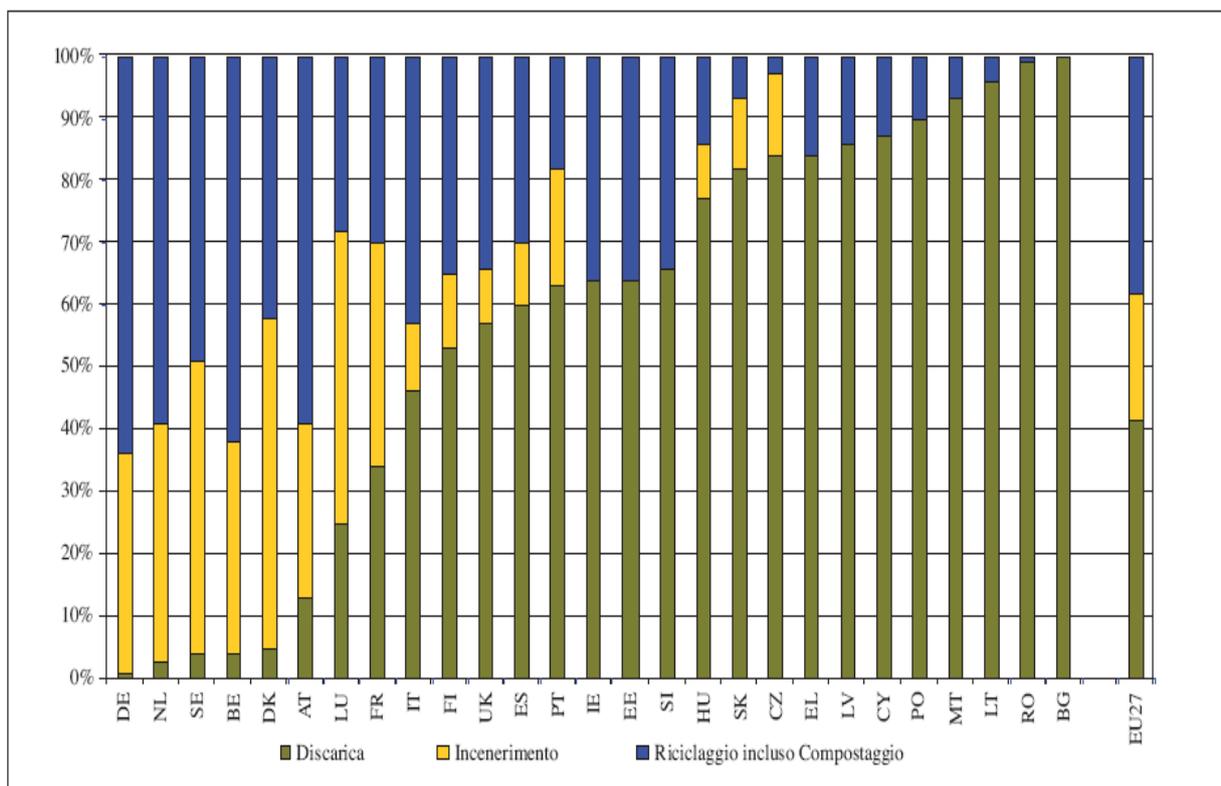



Fig. 1.30 - Gestione dei rifiuti urbani nell'UE

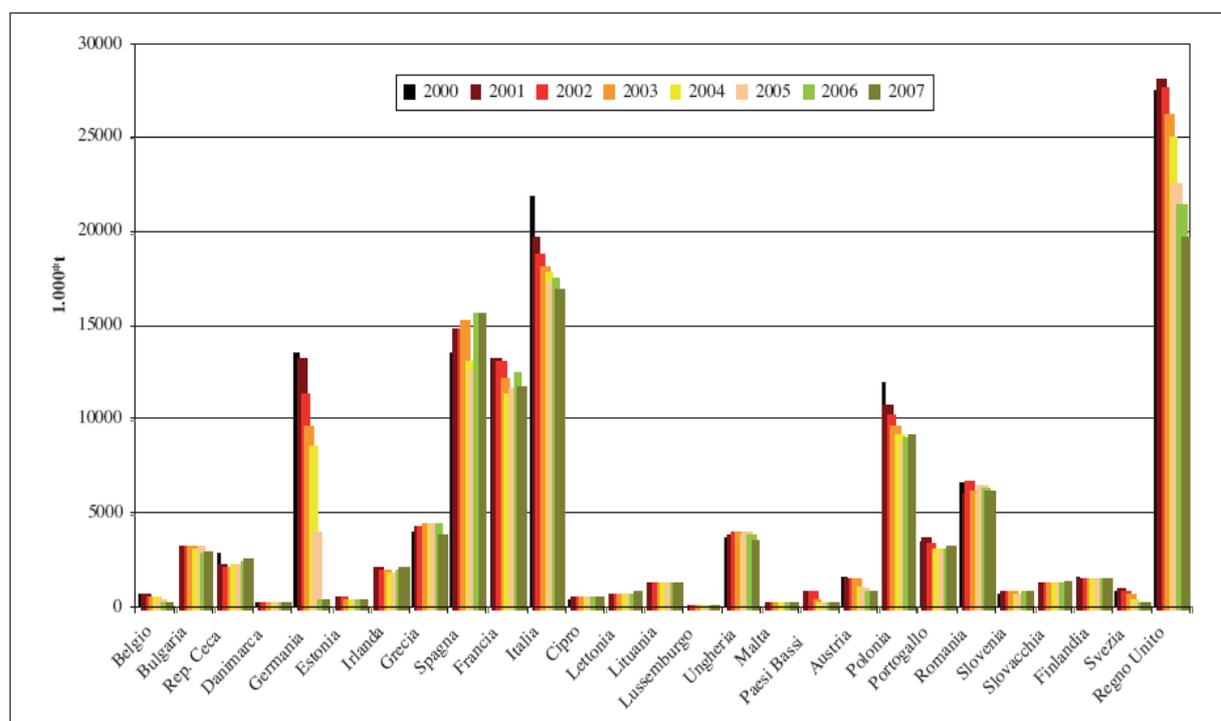



Fig. 1.31 - Istogramma raffigurante lo smaltimento in discarica dei paesi dell'UE27,anno 2000-2007

Dall'istogramma di cui sopra si evince come le varie Nazioni appartenenti all'UE gestiscono i loro rifiuti nelle loro proporzioni in discariche, ad impianti di incenerimento o a riciclaggio includendo il compostaggio.

CAPITOLO 2 – Il quadro energetico attuale

E' opinione diffusa accettare come inconfutabili espressioni del tipo:

"Lo sviluppo economico e sociale risulta fortemente influenzato,
ed inscindibile, dal ruolo dell'energia".

Di fronte a tale espressione sorgono spontanee una serie di interrogativi a cui ognuno può dare una risposta personale:

1) non sarebbe corretto anche dire:

"Le disuguaglianze economiche e sociali risultano fortemente influenzate, e sono inscindibili, dal ruolo dell'energia" ?

2) sviluppo è sinonimo di crescita e miglioramento, ma stiamo realmente migliorando le nostre condizioni di vita ?

3) nell'ipotesi surrealistica che stiano migliorando, è accettabile correre ancora in tale direzione, quando è evidente che la natura si sta già prendendo le sue rivincite di fronte alla "snaturata" condotta umana ?

4) è disposto il genere umano - in particolare la parte ricca del mondo - ad accettare una limitazione dei consumi e delle relative comodità?

2.1 Tipologia di fonti energetiche

Quando si parla di energia la prima distinzione da fare è quella tra due tipologie di fonti energetiche:

- ***fonti primarie***, che sono quelle presenti in natura prima di aver subito una qualunque trasformazione;

- ***fonti secondarie,*** che sono invece quelle che derivano da una qualche trasformazione di quelle primarie.

2.1.1 Le fonti energetiche primarie

Perché una fonte primaria possa essere sfruttata, deve avere alcune caratteristiche peculiari. Deve essere cioè:

- concentrabile;
- indirizzabile;
- frazionabile;
- continua;
- regolabile.

CONCENTRABILE: vuol dire che deve essere possibile concentrare la sorgente di energia entro un'area relativamente limitata, affinché sia possibile controllarla. Una fonte di energia dispersa su

una superficie molto estesa diventerebbe praticamente impossibile da gestire. Un'area limitata può essere quella di una centrale elettrica (di solito, l'area impegnata non arriva a un chilometro quadrato per quelle termoelettriche, e può superare questo valore, ma non di molto, per quelle idroelettriche, tenendo conto del bacino di raccolta e delle condotte); ma può essere anche quella, molto inferiore, del serbatoio di benzina della nostra automobile, o addirittura quella minuscola di una batteria a bottone per l'alimentazione di un orologio al quarzo.

INDIRIZZABILE: vuol dire che deve essere possibile indirizzare il prodotto (benzina, acqua, raggi solari) nella direzione in cui esso deve essere utilizzato (bruciatore, turbina, lente, specchio).

FRAZIONABILE: vuol dire che deve essere possibile frazionare la fonte in più parti, in modo da poter utilizzare solamente la parte, piccola o grande che sia, che ci serve in quel momento. Per esempio, l'energia di un fluido (benzina, gasolio o gas) è frazionabile a piacere.

CONTINUA: vuol dire che la sorgente deve poter funzionare per un certo tempo, fornendo la sua energia con una certa continuità, e non esaurirsi in pochi secondi. Esistono molti esempi di notevoli quantità di energia concentrate in tempi brevissimi (il fulmine, un'esplosione, un oggetto qualunque che cade). Questi tipi di energia, evidentemente, non sono utilizzabili industrialmente.

REGOLABILE: vuol dire che l'energia fornita dalla sorgente deve essere graduabile secondo le necessità. È quello che facciamo tutti, premendo più o meno il pedale dell'acceleratore della nostra automobile per regolare la sua velocità, oppure manovrando il potenziometro del volume del nostro impianto stereo o del nostro televisore in modo da adattare il livello sonoro alle nostre esigenze.

Una fonte di energia è tanto più pregiata quanto migliori sono le caratteristiche sopra indicate. Tra le fonti primarie distinguiamo:

a) le **fonti energetiche esauribili**;

b) le **fonti di energia rinnovabili**, quali energia solare, eolica, idrica, biomasse, geotermica.

2.1.1.1 FONTI ENERGETICHE ESAURIBILI

Le fonti esauribili vengono anche definite fonti tradizionali di energia e sono le maggiori responsabili dell'effetto serra. Vengono definite esauribili perché si rigenerano con una velocità di un centinaio di migliaia di volte più bassa della velocità con la quale consumate dall'uomo.
Le fonti energetiche esauribili sono a loro volta distinte in:

1. fonti di origine fossile (petrolio, gas naturale, carbone);

2. fonti di natura fissile (ad esempio, l'energia nucleare).

In altri termini sono quelle che si sono formate nel corso di milioni di anni e che, con il passare degli anni e con il ritmo attuale di sfruttamento a cui sono sottoposte, spariranno dal nostro pianeta perché non sono rigenerabili in brevi periodi di tempo.

A differenza di quelle rinnovabili, queste fonti sono esauribili in quanto, anche se consistenti in giacimenti molto vasti, sono pur sempre quantità limitate tenendo conto del fabbisogno fortemente crescente delle popolazioni mondiali. Esse non possono essere ricostituite perché la loro formazione è derivata da situazioni ambientali particolari, che hanno richiesto tempi lunghissimi (anche milioni di anni) in quanto altrettanto occorrerebbe per ricostituirle

2.1.1.2 FONTI DI ENERGIA RINNOVABILI

Le fonti rinnovabili di energia, invece, vengono così chiamate perché, a differenza delle precedenti, si rigenerano con una velocità notevolmente superiore e pertanto, se correttamente gestite, sono praticamente inesauribili.
Spesso queste ultime vengono denominate fonti di energia alternative; una definizione, questa, in alcuni casi non molto felice, in quanto alcune di esse erano largamente utilizzate in passato: si pensi ai mulini a vento o alla legna da ardere o all'energia idraulica.
Per la fragilità del pianeta e la salvaguardia del suo ambiente, il futuro dell'umanità deve puntare allo sviluppo sostenibile, di cui si parlerà in dettaglio nei paragrafi successivi. Nella figura 1.1 è mostrata la classificazione delle risorse naturali secondo i principi dello sviluppo sostenibile.

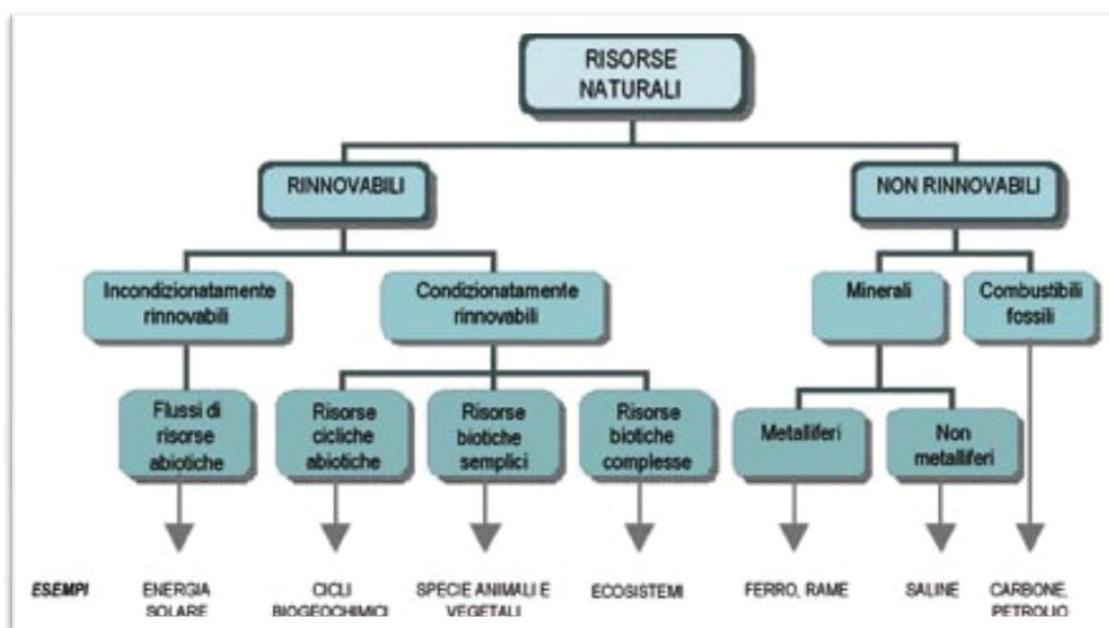



Fig. 2.1: classificazione delle risorse naturali secondo i principi dello sviluppo sostenibile

Per far fronte alla crescente richiesta di servizi energetici, è necessario un maggior ricorso a fonti rinnovabili in grado, a parità di servizio, di sostituire almeno in parte i combustibili fossili. Pertanto la motivazione per sostenere l'adozione di energie pulite deve essere mossa più da un'acquisita sensibilità ambientalista, che da un effimero ritorno economico. Le fonti rinnovabili sono virtualmente inesauribili e a basso impatto ambientale, laddove siano considerate le opportune attenzioni del caso. Occorre strutturare una politica energetica in grado di ottenere il maggior ritorno, in termini di efficienza, da ciascuna delle tecnologie.
Le fonti energetiche si distinguono, in funzione del tipo di sorgente e tecnologia di sfruttamento, in:

- **Solare Fotovoltaico**: conversione di energia solare in energia elettrica mediante l'uso di celle formate da materiali semiconduttori;
- **Solare Termico**: produzione di energia termica attraverso pannelli solari che riscaldano un liquido (generalmente acqua) o l'aria;
- **Energia eolica**: conversione di energia del vento in energia meccanico-elettrica mediante aerogeneratori;
- **Energia da biomasse**: processi di trasformazione di materiali vegetali, residui agricoli, industriali, urbani e affini;
- **Bioclimatica** (bioedilizia o bioarchitettura): sistemi e tecnologie per ottimizzare l'utilizzo dell'irraggiamento solare all'interno degli edifici;
- **Energia geotermica**: sfruttamento dell'energia termica del sottosuolo e conservata nelle rocce e nei fluidi caldi della terra;
- **Energia idraulica**: energia dalle centrali idroelettriche alimentate dal ciclo dell'acqua attivato dalla radiazione solare;
- **Energia dal mare**: energia di correnti, onde, maree e del gradiente termico esistente tra superficie e fondali.

La produzione in loco da queste sorgenti consentirebbe di produrre energia laddove essa deve consumarsi, riducendo le problematiche politiche, tecniche ed economiche della trasmissione e distribuzione dell'energia. Le barriere che ancora si frappongono tra potenzialità ed effettive possibilità d'uso delle rinnovabili - e che impediscono loro di svolgere un ruolo significativo nella programmazione politica ed energetica locale e mondiale - sono di varia natura e tra loro strettamente connesse: tecniche e tecnologiche, economiche e di mercato, ambientali. Di conseguenza, malgrado la consapevolezza dei vantaggi che si otterrebbero da una loro maggiore penetrazione (occupazione, protezione ambientale, politica energetica, ecc.), l'uso delle rinnovabili ha rivestito sinora un ruolo marginale nella produzione energetica globale. L'esiguità del loro utilizzo è riassumibile in un aspetto prevalentemente economico:

- bassa efficienza delle tecnologie (situazione in rapido miglioramento);
- investimenti con periodi di ammortamento lunghi rispetto all'energia fossile.

Le rinnovabili avrebbero comunque una quota di mercato molto superiore, anche con l'attuale grado di tecnologia, se i costi dei combustibili fossili riflettessero pienamente le esternalità negative (costi esterni), come per esempio i costi legati alla protezione ambientale. Lo sviluppo di energie pulite si avvantaggerebbe notevolmente da normative internazionali in base alle quali i prezzi dell'energia tenessero conto degli effettivi costi sociali.

Nota:
Per costi sociali si intende la somma dei costi interni e dei costi esterni.
Costi interni: costi effettivamente sostenuti per la produzione di un bene e per le attività ad esso legate;
Costi esterni: costi che non ricadono sul bene ma su altri soggetti, o in generale sulla società nel suo complesso.

2.1.2 Le fonti energetiche secondarie

Come detto innanzi, si definiscono fonti secondarie quelle che derivano, in qualunque modo, da una trasformazione di quelle primarie: sono fonti secondarie, per esempio, la benzina (perché deriva dal trattamento del petrolio greggio), il gas di città (che deriva dal trattamento di gas naturali), l'energia elettrica (che deriva dalla trasformazione di energia meccanica o chimica), eccetera. Le attuali tecnologie per la produzione di energia sono distinte in funzione dell' energia secondaria derivata o vettore energetico che si vuole ottenere. Si hanno quindi tecnologie per la produzione di energia elettrica, energia termica, combustibili e carburanti. Per la produzione di energia elettrica, le tecnologie più utilizzate sono i sistemi termoelettrici dove l'energia primaria viene trasformata in calore per azionare turbine a gas e/o a vapore. Il rendimento di questi sistemi va dal 25% per i piccoli impianti che utilizzano combustibili grezzi al 55% dei grandi impianti turbogas a ciclo combinato. Per la produzione di calore si utilizzano svariate tecnologie in funzione alle diverse esigenze (riscaldamento o refrigerazione) e alle diverse temperature. Normalmente per il riscaldamento si utilizzano combustibili quali il metano di rete, il gasolio, gpl e similari derivati dal petrolio e ormai raramente dal carbone.

Fig. 2.2: l'idroelettrica è una fonte di energia rinnovabile

Fig. 2.3: il fotovoltaico è una fonte di energia rinnovabile

Fig. 2.4: il nucleare è una fonte di energia esauribile

Fig. 2.5: l'eolico è una fonte di energia rinnovabile

2.2 Consumi energetici

Conformemente con quanto si dirà nei paragrafi seguenti, attualmente l'80-85% della produzione energetica mondiale proviene da combustibili fossili, ossia da fonte esauribile. Questo dato, già di per sé, dovrebbe rappresentare da una parte la dimensione del problema che si dovrà affrontare nei decenni futuri, per il fatto che, una fonte esauribile è, come dice la parola, destinata ad esaurirsi, dall'altra l'occasione per un'attenta riflessione sul concetto di risparmio energetico. Per risparmio energetico, in senso stretto, si intende il risparmio di fonti energetiche altrimenti utilizzabili; quindi, in concreto, si intende il risparmio di:

- **petrolio;**
- **metano;**
- **combustibili solidi;**
- **materiali fissili.**

Questo perché in massima parte le fonti energetiche rinnovabili non si possono risparmiare. Le stesse fonti rinnovabili quindi spesso possono essere un mezzo di risparmio energetico e pertanto rappresentano una tecnologia sostenibile di produzione di energia. Il loro utilizzo infatti permette di ridurre il consumo di combustibili fossili, quali petrolio e metano, nonché l'emissione in atmosfera di tutti quei gas ad effetto serra derivanti dalla loro combustione. Il risparmio energetico è un fine,

mentre l'utilizzo razionale dell'energia (e quindi l'applicazione delle tecnologie efficienti) è il mezzo o il metodo: è ciò che permette, nella pratica, di ridurre il consumo di risorse energetiche altrimenti utilizzabili. Nella accezione più comune, invece, per risparmio energetico si intende il minor utilizzo dell'energia a nostra disposizione nelle azioni di tutti i giorni e si compie attraverso comportamenti virtuosi ed intelligenti: ad esempio spegnere le luci quando non servono, utilizzare veicoli di bassa cilindrata o anche biciclette o ancora andare a piedi. In questo comportamento virtuoso ci può essere rinuncia a comfort e/o servizi, ma non necessariamente: comportamenti intelligenti permettono un considerevole risparmio energetico senza particolari rinunce e per attuarli è necessario conoscere la materia e saper dosare sobrietà, intelligenza ed equilibrio. In sintesi il risparmio energetico ottenibile dai comportamenti quotidiani si può definire come risparmio energetico intelligente, in quanto scaturisce da conoscenza e cultura individuale. Per favorire il "risparmio energetico intelligente" servono azioni di informazione e sensibilizzazione, quindi serve una promozione culturale poiché i comportamenti quotidiani non possono essere imposti per legge, né sperare troppo che possano essere adottati spontaneamente su larga scala nel breve periodo, anche se ciò è auspicabile e sicuramente sempre più vantaggioso sotto l'aspetto economico e ambientale.

2.2.1 Consumi globali di energia primaria

L'attuale sistema energetico è essenzialmente basato sulle fonti primarie di origine fossile, cioè costituite da riserve di combustibili naturali formatisi in milioni di anni nel corso dell'evoluzione del nostro pianeta e che si sono conservati nelle profondità della crosta terrestre. Queste vengono bruciate per soddisfare circa l' 85% dell'attuale fabbisogno energetico globale e sono costituite essenzialmente da petrolio, carbone e gas naturale (metano). Come mostra lo schema di cui sotto, un altro 6% circa del fabbisogno energetico globale è coperto da materiale fissile (essenzialmente uranio 235, ricavato dall'uranio naturale) utilizzato in centrali nucleari, per cui circa il 91% del fabbisogno energetico globale è coperto da fonti primarie esauribili, ed infine poco meno del 9% del fabbisogno energetico globale è coperto da fonti di energia rinnovabili, idroelettrico circa 3%, biomasse, geotermico ed eolico in assieme coprono il 6% circa.

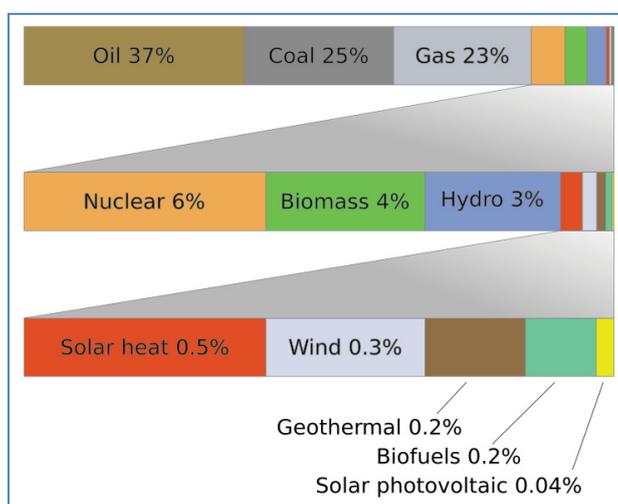



Fig. 2.6: Copertura del fabbisogno energetico globale per tipologia di fonte energetica

Le risorse energetiche di origine fossile presentano almeno quattro gravi inconvenienti:

- il progressivo esaurimento delle risorse;
- la disponibilità in aree geopolitiche instabili;
- il conseguente e continuo rincaro dei prezzi;
- un forte impatto ambientale.

La disponibilità delle risorse energetiche fossili non è infatti illimitata.

Fino agli anni Sessanta si era convinti dell'inesauribilità del petrolio (in generale delle risorse fossili) e che la sua estrazione potesse andare avanti all'infinito.

Da allora quale è stata l'evoluzione della domanda di energia a livello mondiale ?

Alla presa di coscienza del progressivo esaurimento delle risorse non è seguita una riduzione dei consumi. Nel 2006 l'intera economia mondiale, conformemente con quanto si evince dalla tabella 1.1, ha consumato circa 11 MTep (milioni di tonnellate equivalenti di petrolio), con un trend crescente del 3-4% l'anno.

Tabella 2.1: consumi energia primaria per aree (MTep)

Consumi energia primaria per aree (MTep)								
	1994	Peso %	2000	Peso %	2004	Peso %	2006	Peso %
Nord America	2459,6	29,6	2736,3	30,1	2784,4	27,2	2803,0	25,7
Centro America	368,3	4,4	450,7	5,0	483,1	4,7	528,6	4,8
Europa e Eurasia	2796,6	33,7	2830,4	31,2	2964,0	29,0	3027,2	27,8
Medio Oriente	319,0	3,8	395,8	4,4	481,9	4,7	554,2	5
Africa	235,8	2,8	276,8	3,0	312,1	3,1	324,1	2,9
Asia-Pacifico	2130,9	25,6	2389,7	26,3	3198,8	31,3	3641,5	33,4
TOTALE	8310,2	100,0	9079,7	100,0	10224,3	100,0	10878,5	99,6

Fonte Bp 2006

Il grafico 2.7 riporta il consumo di energia espresso in MTep, con una proiezione sullo scenario futuro.

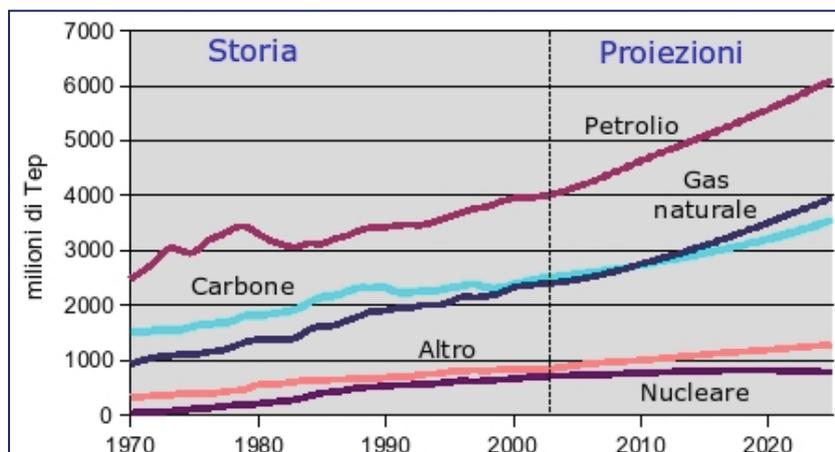



Fig. 2.7: consumo mondiale di energia primaria

Come si può osservare dalla figura di cui sopra, risulta evidente che il fabbisogno energetico

mondiale non accenna ad assestarsi; tale incremento è da attribuirsi sostanzialmente a tre fattori:

- **aumento del consumo energetico medio procapite;**
- **rapida ascesa delle economie emergenti (India e Cina su tutte);**
- **crescita demografica a livello planetario.**

Tabella 2.2 : equivalente energetico di alcuni prodotti combustibili

PRODOTTO	TONNELLATE	TEP
GASOLIO	1	1,08
OLIO COMBUSTIBILE	1	0,98
GPL	1	1,1
BENZINE	1	1,2
CARBON FOSSILE	1	0,74
CARBONE DI LEGNA	1	0,75
ANTRACITE	1	0,7
LEGNA DA ARDERE	1	0,45
LIGNITE	1	0,25
GAS NATURALE	1000 Nm^3	0,82

Se da un lato la ricerca dell'efficienza energetica e le innovazioni tecnologiche hanno mitigato il fabbisogno energetico nei Paesi Sviluppati, dall'altro i Paesi in via di sviluppo hanno accelerato i consumi. L'accresciuto fabbisogno di energia comporterà una ancor più stretta dipendenza dai combustibili fossili e, come ormai largamente dimostrato, un conseguente incremento dei gas serra, ed un conseguente peggioramento del clima. Gli esperti ritengono che stiamo ormai raggiungendo la massima velocità di estrazione di petrolio e gas naturale: il picco di estrazione del petrolio verrà raggiunto intorno al 2010 e quello del gas intorno al 2020. Il progressivo esaurirsi del petrolio e del gas naturale provocherà verosimilmente un ricorso sempre maggiore all'uso del carbone, aggravando così la situazione attuale. Quando il picco di estrazione sarà raggiunto la domanda sarà permanentemente superiore all'offerta facendo precipitare l'intero nostro sistema economico in una crisi energetica strutturale, difficilmente superabile nell'immediato.

2.2.2 Consumi di fonti primarie in Italia

L'Italia è fortemente dipendente da altri Paesi per quanto riguarda il fabbisogno totale di energia. Tale dipendenza è cresciuta negli ultimi anni passando dall' 81% del 1995 a circa l' 85,1% del 2005, rispetto ad una media europea prossima al 54%.

Rispetto alla media dei 27 Paesi dell'Unione Europea, i consumi di energia primaria in Italia si caratterizzano:

- per un maggiore ricorso a petrolio e gas;
- per una componente strutturale di importazioni di elettricità (circa il 5% dei consumi primari);
- per un ridotto contributo del carbone (pari al 9% dei consumi primari di energia) e per l'assenza di generazione elettronucleare.

La quota di fonti energetiche rinnovabili sul totale dei consumi primari di energia è leggermente più elevata rispetto alla media dei Paesi OCSE soprattutto grazie al notevole apporto della fonte idroelettrica.

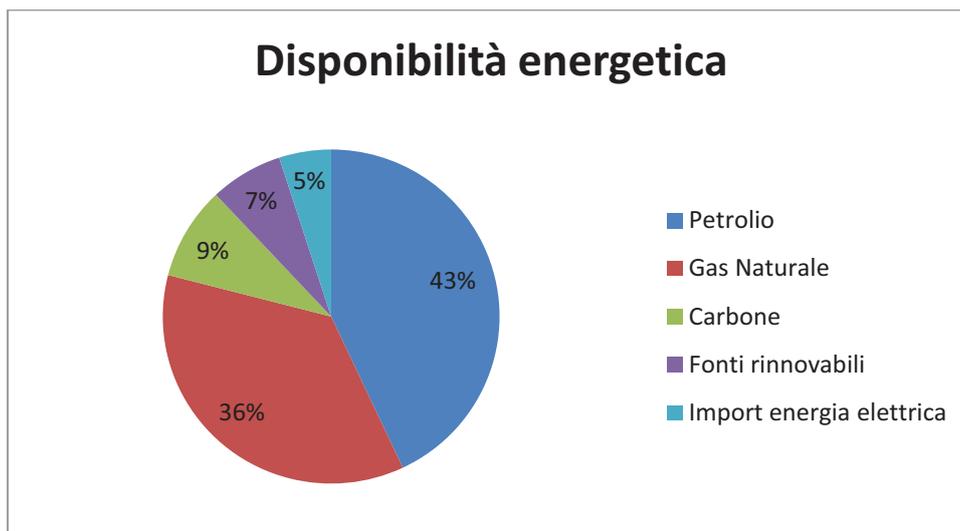



Fig.28: disponibilità di energia per fonte. Dati Istat 2008

Nei settori di uso finale dell'energia l'andamento recente dei consumi energetici evidenzia:

- una stabilizzazione dei consumi del settore trasporti attorno ai 44 Mtep;
- il raggiungimento di un analogo livello di consumo nel settore Civile nonostante forti oscillazioni determinate essenzialmente da fattori climatici;
- la progressiva diminuzione dei consumi dell'industria.

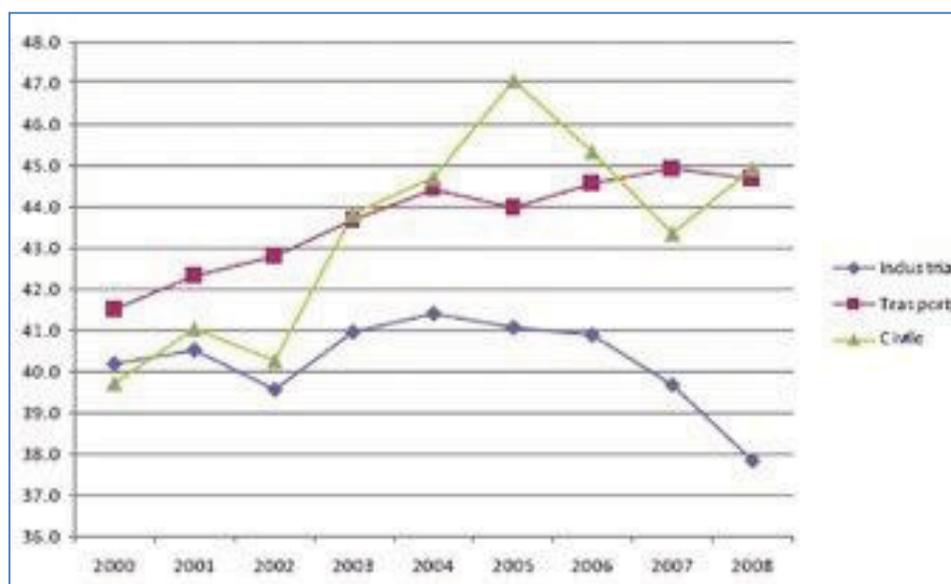



Fig. 2.9: consumi finali di energia per settore (Mtep), Italia anni 2000-2008
Fonte: elaborazione Enea su dati MSE

Il consumo di energia in Italia, con riferimento all'anno 2008, ammonta a circa 127 Mtep; dagli anni '60 ad oggi il consumo interno di energia è raddoppiato. Gli impieghi finali indicano come, negli ultimi anni, il settore civile, comprendente il residenziale ed il terziario, sia notevolmente cresciuto se si esclude la flessione verificatasi nel biennio 2005-2007, eguagliando i trasporti e superando l'industria. Ciò conferma in maniera inequivocabile che una delle principali tematiche da sviluppare nell'ambito delle politiche energetiche nazionali e regionali sia, tra le altre cose, il perseguimento del risparmio energetico nel campo residenziale. Di fronte alla crisi energetica cronica che investe il

nostro Paese, occorrerebbe puntare maggiormente sulle rinnovabili. Le potenzialità sarebbero enormi, basti pensare che produciamo un quantitativo di energia dall'eolico e dal solare pari al 10–15% di quello che producono paesi come Germania e Austria. Altre filosofie di pensiero vedrebbero di buon occhio un ritorno al nucleare. Un ritorno al passato che, al di là dei presunti vantaggi economici o ambientali tutti da dimostrare, troverebbe la sua ragion d'essere nella crisi dei prezzi petroliferi e nell'instabilità politica delle aree dove essi si trovano. D'altra parte dal 2005, i consumi di energia primaria in Italia sono in costante calo come attestano i numeri di seguito elencati (forniti dalla *Energy Information Administration* e consistenti con i dati pubblicati dagli esperti delle questioni energetiche nazionali).

- Consumo 2005: 8.139 quad
- Consumo 2006: 8.079 quad
- Consumo 2007: 7.969 quad
- Consumo 2008: 7.588 quad

in cui 1 quad = 1 milione di miliardi di BTU (*British Thermal Units*) e BTU è l'unità con cui si misura il contenuto calorico dei combustibili. 1 kilowatt-ora corrisponde a 3412 BTU.
Nel 2009, i consumi complessivi di energia primaria sono ulteriormente e drasticamente calati rispetto al 2008 in virtù della pesante crisi economica. Dunque lo scenario che prevede una continua crescita dei consumi energetici esiste soltanto nelle fantasie dei fautori del ricorso all'energia nucleare: da anni prevedono surrettiziamente crescite che poi non si verificano!

2.2.3 Consumi di fonti secondarie in Italia

Le fonti di energia secondaria, come innanzi detto, sono quelle forme di energia che non possono essere erogate direttamente da alcuna fonte, bensì provengono dalla trasformazione delle energie primarie e sono rese utilizzabili sotto altre forme più adatte al trasporto e ai vari impieghi. Pertanto possono essere utilizzate solo a valle di una trasformazione di energia. La corrente elettrica è la più importante fonte di energia secondaria ed è largamente impiegata in campo industriale, domestico e nei trasporti. Nelle tabelle che seguono sono rappresentati i consumi in Italia, relativamente al 2006, di importanti fonti di energia secondaria quali la corrente elettrica, l'energia termica ed i carburanti. Le fonti primarie vengono utilizzate per ottenere energia elettrica, energia termica e carburanti; nella tabella sottostante i dati riguardano il contenuto energetico delle fonti primarie necessarie alla produzione e non il puro contenuto energetico delle fonti secondarie ottenute.

Tabella 2.3: fonti secondarie dalla trasformazioni delle fonti primarie, 2006

Fonti secondarie dalla trasformazione delle fonti primarie, 2006					
En. Elettrica	*En. termica*	*Carburanti*	*Usi non energetici*	*Perdite*	***totali ktep***
59.533	77.334	43.747	8.015	7.648	**196.277**
30%	39,40%	22,29%	4,08%	3,90%	100%

Consumo di energia elettrica

La tavola seguente illustra la quantità di energia elettrica prodotta da ogni fonte primaria e la quantità utilizzata dai vari settori di consumo.

Tabella 2.4: fonti primarie e settori di consumo dell'energia elettrica nel 2006

Fonti primarie e settori di consumo dell'energia elettrica nel 2006							
	industria	residenziale	agricoltura	servizi	perdite	totali %	**totali GW**
totali GWh	41.166	114.069	16.542	42.272	47.336	100,00%	**361.384**
combustibili.fossili						37,60%	135.868
metano						29,48%	106.549
nucleare						14,69%	53.083
rinnovabili						18,23%	65.884
totali %	39,06%	31,56%	4,58%	11,70%	13,10%	100,00%	361.384

Consumo di energia termica

La tavola seguente illustra il fabbisogno di energia termica per settore di consumo in rapporto alle fonti primarie utilizzate

Tabella 2.5: fonti primarie e settori di consumo dell'energia termica nel 2006

Fonti primarie e settori di consumo dell'energia termica nel 2006							
	industria	residenziale	agricoltura	servizi	perdite	totali %	**totali-ktep**
Totali kTep	28.782,0	32.225,0	3.469,00	6540,8	6.317,3	100,00%	**77.334,0**
carbone	4.413,0	8,0	0,00	0,0	393,3	6,2%	4.814,3
GPL.e.gas.petr.	548,0	2.203,2	128,80	2563,0	484,2	7,7%	5.927,2
oli.e.comb..petr.	7.111,0	3.755,8	2.459,20	406,6	1.221,6	19,3%	14.954,2
metano	16.418,0	24.887,0	712,00	3571,2	4.055,3	64,2%	49.643,5
biomasse	292,0	1.371,0	169,00	0,0	163,0	2,6%	1.995,0
totali %	37,22%	41,67%	4,49%	8,46%	8,17%	100,00%	77.334,0

Consumo di carburanti

Quantità di carburanti utilizzati per i vari settori di trasporto.

Tabella 2.6: fonti primarie e settori di consumo dei carburanti per trasporti nel 2006

Fonti primarie e settori di consumo dei carburanti per trasporti nel 2006							
	stradali	aerei	navali	ferroviari	perdite	totali %	**totali ktep**
totali ktep	38.851,4	3.362,8	238,6	579,3	714,7	100,0%	**43.746,8**
gasolio	19.610,7	3.224,0	236,6	124,4	292,0	53,7%	23.487,7
benzina	16.795,0	126,0			288,0	39,3%	17.209,0
GPL	1.444,3				132,0	3,6%	1.576,3
metano	440,0				2,7	1,0%	442,7
elettrici	301,4	12,8	2,0	454,9		1,8%	771,1
biodiesel	260,0					0,6%	260,0
totali %	88,81%	7,69%	0,55%	1,32%	1,63%	100,0%	43.746,8

CAPITOLO 3 - Il Surriscaldamento globale

3.1 Introduzione al problema

Riscaldamento globale (global warming nella letteratura scientifica) è un' espressione usata per indicare le fasi, relative all'intera storia climatica della Terra, di aumento della temperatura media dell'atmosfera terrestre e degli oceani dovute a cause naturali (cicli solari, moti della Terra, variazioni atmosferiche...).
Spesso l'espressione viene usata impropriamente come sinonimo di "Surriscaldamento Climatico" che al contrario indica la quota parte di aumento delle temperature causata dalle varie attività di natura antropica. Considerando i dati raccolti dal 1861 a oggi, gli anni tra il 1990 e il 2000 sono stati la decade più calda.;questa tendenza può essere osservata nel grafico riportato di seguito, che mostra la variazione di temperatura rispetto a un valore di riferimento al variare dell'anno, per il periodo dall'anno 1860 al 2000.

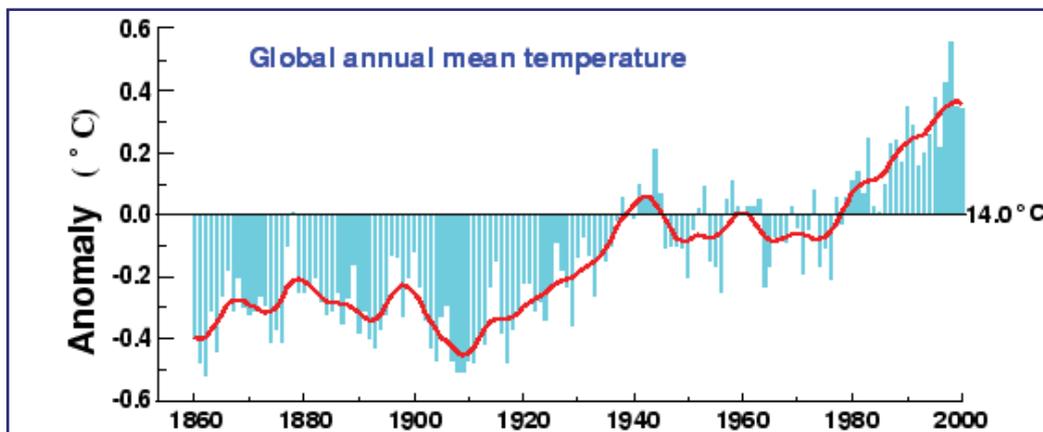



Fig. 3.1: Variazione di temperatura rispetto ad un valore di riferimento al variare dell'anno

3.2 Le conferenze mondiali sulla protezione del clima

Il 2 febbraio 2007 è stato presentato a Parigi il quarto rapporto sullo stato del clima redatto da parte dell'organo scientifico delle Nazioni Unite (*IPCC -Intergovernmental Panel on Climate Change*). Con tale importante contributo scientifico sono state messe a tacere anche le più tenaci voci critiche. Dal rapporto emerge che l'umanità sta agendo sul clima terrestre in modo ancora più veloce e pesante di quanto finora ipotizzato. Le prove scientifiche, che indicano come i mutamenti climatici stanno seriamente minacciando il pianeta, sono schiaccianti. L'ultimo rapporto IPPC afferma che se l'emissione di gas climalteranti non si ridurrà in modo sostanziale entro il 2020, il riscaldamento terrestre metterà in moto meccanismi irreversibili. Tra questi vi è ad esempio lo scioglimento dei ghiacci della Groenlandia e l'acidificazione degli oceani. Da decenni si moltiplicano indizi ed appelli di scienziati che affermano che l'uomo sta riscaldando il pianeta attraverso l'enorme quantità di emissioni di gas climalteranti. Già nel 1972 il Club di Roma presentò il suo studio sui limiti della crescita e nel 1979 si ebbe la prima conferenza mondale sul clima. Nello stesso anno si ebbe l'istituzione del programma mondiale sul clima. L'IPPC fu fondato nel 1988 e nel 1990 pubblicò il primo rapporto dimostrando come le attività dell'uomo siano in grado di influenzare il clima terrestre. Nel 1992 le Nazioni Unite invitarono tutti i capi di stato del mondo al primo vertice

mondiale sul clima. Il vertice diede un forte segnale che non mancò di avere il suo effetto sulla scena mondiale e che ebbe grande eco sugli organi d'informazione internazionali. Ciò nonostante, non ne uscì nulla di più che una convenzione sul clima che assomigliava ad una tigre di carta. Infatti, nella convenzione non si fissarono obiettivi vincolanti di riduzione della CO2. Bisognò attendere fino al 1997 quando a Kyoto fu approvato l'omonimo protocollo.
La questione si fece finalmente più concreta grazie al fatto che i paesi industrializzati concordarono obiettivi concreti di riduzione dei gas climalteranti. Negli anni successivi si cerco affannosamente di ergere il protocollo di Kyoto al rango di norma internazionale. La norma che doveva essere vincolante almeno per i paesi industrializzati. Un lavoro quanto mai faticoso, giacchè gli Stati Uniti d'America si defilarono dal programma di tutela del clima. Nel frattempo, nel 1995 e nel 2001, furono pubblicati altri due rapporti dell'IPPC. Le condizioni per far diventare il protocollo di Kyoto una norma a livello internazionale vennero soddisfatte solo quando la Russia ratificò il protocollo; era il febbraio 2005. Un percorso lungo e pieno d'ostacoli che impose ai paesi industrializzati (USA esclusi) una riduzione del 5,2% delle emissioni rispetto a quelle del 1990.

3.3 Cause del riscaldamento

Il mantenimento della temperatura della biosfera terrestre attorno a valori medi atti a garantire la vita è dovuto principalmente all'azione combinata dei seguenti quattro fattori:

1) Calore interno del pianeta;

2) Irraggiamento solare, che fornisce l'energia per l'effetto serra;

3) Presenza dell'atmosfera, che attenua gli sbalzi di temperatura giornalieri e stagionali;

4) Effetto serra naturale, che amplifica l'effetto termico dell' irraggiamento solare.

Attraverso l'immissione nell'atmosfera di certi gas, il principale dei quali è l'anidride carbonica, l'uomo ha incrementato il cosiddetto effetto serra, un effetto già naturalmente presente.
Tale fenomeno consiste nel fatto che i gas-serra consentono alla radiazione solare di raggiungere la superficie terrestre,ostacolandone parzialmente l'immissione verso lo spazio,comportandosi proprio come i vetri di una serra,in quanto assorbono e riflettono sulla Terra l'energia solare da questa irradiata. Nell'attuale fase di riscaldamento del pianeta si sta assistendo al costante aumento di concentrazione di CO_2, uno dei principali gas ad effetto serra. Oltre alla CO_2, che viene prodotta in tutti i processi di combustione,gli altri gas-serra sono:

- il metano, prodotto in grandi quantità nell'allevamento del bestiame (gas intestinali) e nella fermentazione delle sostanze organiche (ad esempio quando la componente umida dei rifiuti finisce in discarica);
- l'ossido nitroso (prodotto in agricoltura in seguito all'uso intensivo di fertilizzanti azotati, nonché nelle marmitte catalitiche delle automobili);
- vari gas usati nell'industria, specialmente nella produzione di frigoriferi e condizionatori.

La figura che segue mostra che prima della rivoluzione industriale (intorno al 1850) la

concentrazione di CO_2 era stabile, con un valore di circa 280 ppm (parti per milione). A partire dall'inizio della rivoluzione industriale l'uso sempre crescente di combustibili fossili (carbone, petrolio, gas naturale) ha portato a un incremento sempre più rapido della concentrazione di CO_2, fino a raggiungere il valore attuale di 370 ppm.

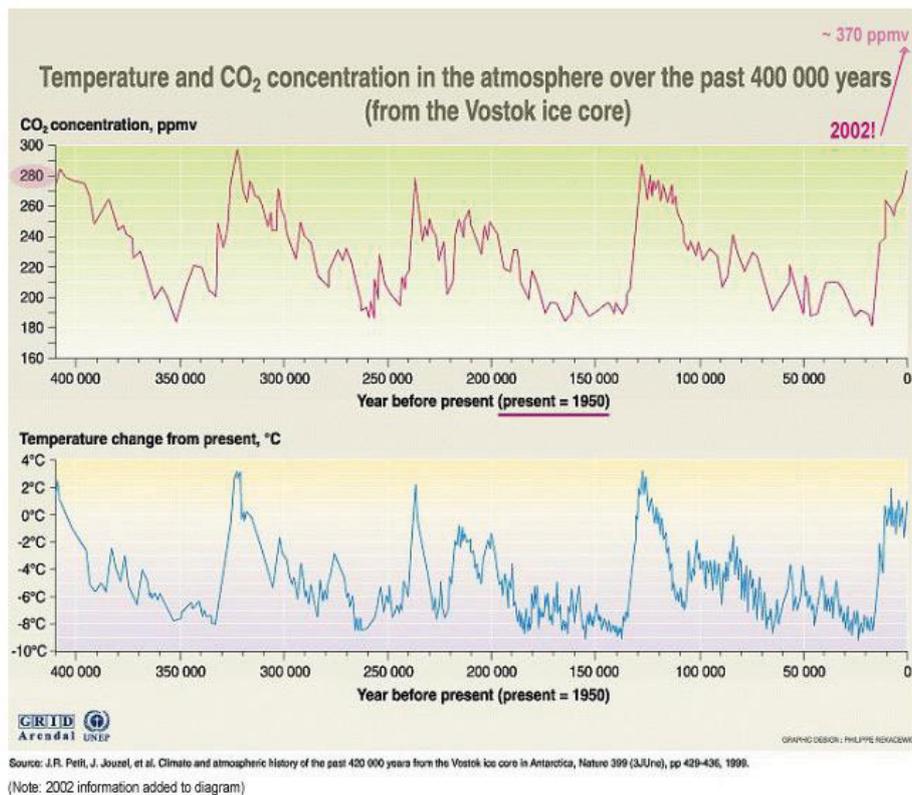



Fig. 3.2 : Concentrazione di CO_2 nell'atmosfera nel corso del tempo

3.3.1 Effetto serra

3.3.1.1 IL FENOMENO

L'effetto serra è un fenomeno senza il quale la vita sul pianeta non sarebbe possibile. Questo processo consiste in un riscaldamento del pianeta per effetto dell'azione dei cosiddetti gas serra, composti gassosi presenti nell'aria a concentrazioni relativamente basse (anidride carbonica, vapor acqueo, metano, ecc.).Tali gas permettono alle radiazioni solari di passare attraverso l'atmosfera mentre ostacolano il passaggio verso lo spazio di parte delle radiazioni infrarosse provenienti dalla superficie della Terra e dalla bassa atmosfera (il calore riemesso); in pratica si comportano come i vetri di una serra e favoriscono la regolazione ed il mantenimento della temperatura terrestre ai valori odierni. Questo processo è sempre avvenuto naturalmente e fa sì che la temperatura della Terra sia circa 33°C più calda di quanto lo sarebbe senza la presenza di questi gas. Ora si ritiene che il clima della Terra sia destinato a cambiare perché le attività umane stanno alterando la composizione chimica dell'atmosfera. Le enormi emissioni antropogeniche di gas serra stanno causando un aumento della temperatura terrestre determinando, di conseguenza, dei profondi mutamenti climatici. Prima della Rivoluzione Industriale, l'uomo rilasciava ben pochi gas in atmosfera, ma ora la crescita della popolazione, l'utilizzo dei combustibili fossili e la deforestazione

contribuiscono non poco al cambiamento nella composizione atmosferica. La principale autorità scientifica in tema di riscaldamento globale è l'Intergovernmental Panel on Climate Change (Comitato Intergovernativo sul Cambiamento Climatico IPCC), un gruppo di centinaia di ricercatori che include i massimi esperti del settore. Questo organismo è stato creato nel 1988 dai governi mondiali sotto l'egida dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO) e del Programma Ambientale delle Nazioni Unite (UNEP). Il Comitato Intergovernativo sul Cambiamento Climatico nel suo Rapporto del 2007 ritiene che la temperatura media del pianeta sia aumentata di circa 0,76°C dalla fine del XIX° secolo. Inoltre, sulla base delle tendenze attuali di emissione dei gas serra, vi è la stima di un ulteriore aumento della temperatura media terrestre tra 1,1 e 6,4°C nel corso di questo XXI° secolo. Il conseguente cambiamento climatico comporterà delle implicazioni estremamente significative a carico della salute dell'uomo e dell'integrità dell'ambiente. Il clima infatti influenza fortemente l'agricoltura, la disponibilità delle acque, la biodiversità, la richiesta dell'energia (ad esempio per il riscaldamento o il raffreddamento) e la stessa economia. Il grafico di seguito riportato rappresenta la variazione delle temperature medie annuali in superficie nel corso degli anni 1880-2007. La linea dello zero rappresenta la media di tutte le temperature, mentre le barre rosse e blu indicano gli scostamenti da tale media.
Come si può vedere, c'è un chiaro trend di crescita. Le temperature riferite alle terre emerse presentano degli scostamenti maggiori di quelle degli oceani perché le terre si riscaldano e si raffreddano più velocemente delle acque.

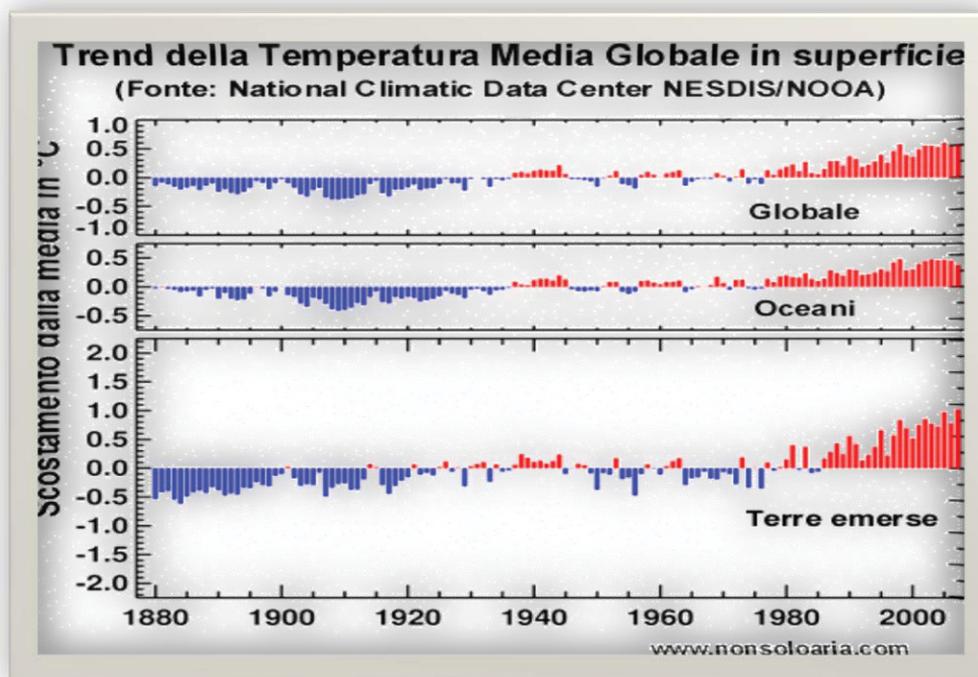



Fig. 3.3: Variazione di temperature medie annuali in superficie negli anni 1880-2007.

3.3.1.2 IL MECCANISMO

Le radiazioni provenienti dal sole non raggiungono la superficie terrestre nella loro totalità: nella misura del 25% vengono assorbite dal pulviscolo, dal vapor acqueo, dall'ozono e da molti altri gas presenti nell'atmosfera, mentre per il 30% vengono invece riflesse nello spazio dal pulviscolo

atmosferico, dalle nuvole e dalla superficie terrestre. La frazione della radiazione solare totale che viene riflessa da un corpo qualsiasi viene anche definita albedo. L'albedo può essere espressa sia come percentuale che come frazione unitaria. Le aree ricoperte di neve hanno un valore elevato di albedo (circa 0,9 cioè il 90%) a causa del colore bianco, mentre la vegetazione ha un valore molto basso (circa il 10%) a causa del colore scuro e dell'assorbimento della luce ad opera della fotosintesi. L'albedo globale terrestre è circa 0,3. La radiazione solare rimanente viene assorbita dai materiali e dagli organismi presenti sulla superficie terrestre. L'energia ricevuta complessivamente dalla superficie terrestre e dalla troposfera viene poi riemessa sottoforma di energia termica come raggi infrarossi. Alcune sostanze presenti in atmosfera (i gas serra) assorbono gran parte di questa radiazione per poi reirradiarla in tutte le direzioni. Circa il 6% di questa energia si perde nello spazio, parte viene riassorbita nuovamente dai composti atmosferici, mentre la quantità maggiore dell'energia viene reirradiata verso la terra, riscaldandola. I gas serra agiscono così come i vetri di una serra: fanno passare la luce solare e trattengono il calore. Il tutto comporta che la temperatura media della Terra sia di 15°C circa, un valore notevolmente più alto di quanto non sarebbe in assenza di questi gas (-18°C).

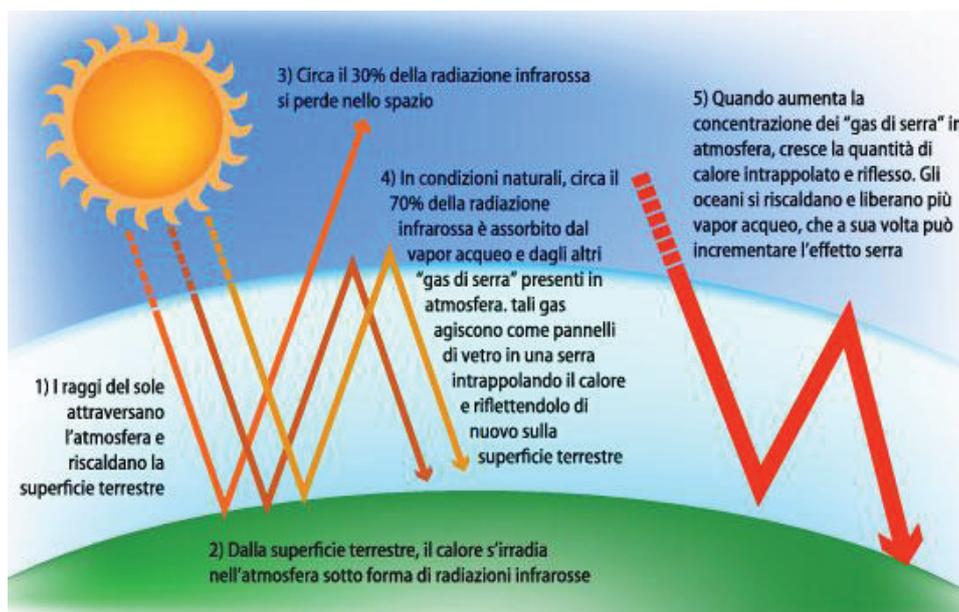



Fig. 3.4: Rappresentazione schematica dell'effetto serra

3.3.1.3 LA CAUSA: I GAS SERRA

I gas serra sono i gas atmosferici che assorbono la radiazione infrarossa e che per questo causano l'effetto serra. I gas serra naturali comprendono il vapor d'acqua, l'anidride carbonica, il metano, l'ossido nitrico e l'ozono. Certe attività dell'uomo, comunque, aumentano il livello di tutti questi gas e liberano nell'aria altri gas serra di origine esclusivamente antropogenica. Il vapor d'acqua è presente in atmosfera in seguito all'evaporazione da tutte le fonti idriche (mari, fiumi, laghi, ecc.) e come prodotto delle varie combustioni. L'anidride carbonica è rilasciata in atmosfera soprattutto quando vengono bruciati rifiuti solidi, combustibili fossili (olio, benzina, gas naturale e carbone), legno e prodotti derivati dal legno. Il metano viene emesso durante la produzione ed il trasporto di carbone, del gas naturale e dell'olio minerale. Grandi emissioni di metano avvengono anche in

seguito alla decomposizione della materia organica nelle discariche ed alla normale attività biologica degli organismi superiori (soprattutto ad opera dei quasi 2 miliardi di bovini presenti sulla terra). L'ossido nitroso è emesso durante le attività agricole ed industriali, come del resto nel corso della combustione dei rifiuti e dei combustibili fossili. Gas serra estremamente attivi sono i gas non presenti normalmente in natura, ma generati da diversi processi industriali, come gli idrofluorocarburi (HFC), i perfluorocarburi (PFC) e l'esafluoruro di zolfo (SF_6). La presenza nel tempo di un gas in atmosfera è anche detta vita media atmosferica e rappresenta l'approssimativo ammontare di tempo che ci vorrebbe perché l'incremento della concentrazione di un inquinante dovuto all'attività umana scompaia e si ritorni ad un livello naturale (o perché l'inquinante è stato convertito in un'altra sostanza chimica, oppure perché è stato catturato da un deposito naturale). Questo tempo dipende dalle sorgenti dell'inquinante, dai depositi e dalla reattività della sostanza. La vita media dei gas serra può variare da 12 anni (metano e HCFC-22), a 50 anni (CFC-11), a circa un secolo (CO_2), a 120 anni (N_2O) ed anche a migliaia di anni (50000 per il CF_4). Per meglio definire l'apporto che ogni determinato gas serra fornisce al fenomeno del riscaldamento globale, si è concepito il potenziale di riscaldamento globale (Global Warming Potential, GWP). Questo valore rappresenta il rapporto fra il riscaldamento globale causato in un determinato periodo di tempo (di solito 100 anni) da una particolare sostanza ed il riscaldamento provocato dal biossido di carbonio nella stessa quantità. Così, definendo il GWP della CO_2 pari a 1, il metano ha GWP pari a 21, il CFC-12 ha un GWP di 8500, mentre il CFC-11 ha un GWP di 5000. Vari HCFC e HFC hanno un GWP variabile fra 93 e 12100. L'esafluoruro di zolfo è un gas serra estremamente potente e ha un GWP pari a 23900, il che vuol dire che una tonnellata di SF_6 provoca un aumento dell'effetto serra pari a quello causato da 23900 tonnellate di CO_2.

Tabella 3.1: Potenziale di riscaldamento globale che ogni gas serra fornisce al riscaldamento globale

Sostanza	GWP
Biossido di carbonio (CO_2)	1
Metano (CH_4)	21
(CFC-12)	8500
(CFC-11)	5000
Idrofluorocarburi (HCFC e HFC)	93-12100
Esafluoruro di zolfo (SF_6)	23900

3.3.1.4 LE EMISSIONI

Dall'inizio della Rivoluzione Industriale, la concentrazione atmosferica dell'anidride carbonica è aumentata del 30% circa,come mostra il grafico di cui sotto. Infatti si può osservare come la concentrazione di CO_2 nell'aria,era all' inizio del ventesimo secolo pari a circa 300 ppm,mentre attualmente,la stima e' di circa 380 ppm.

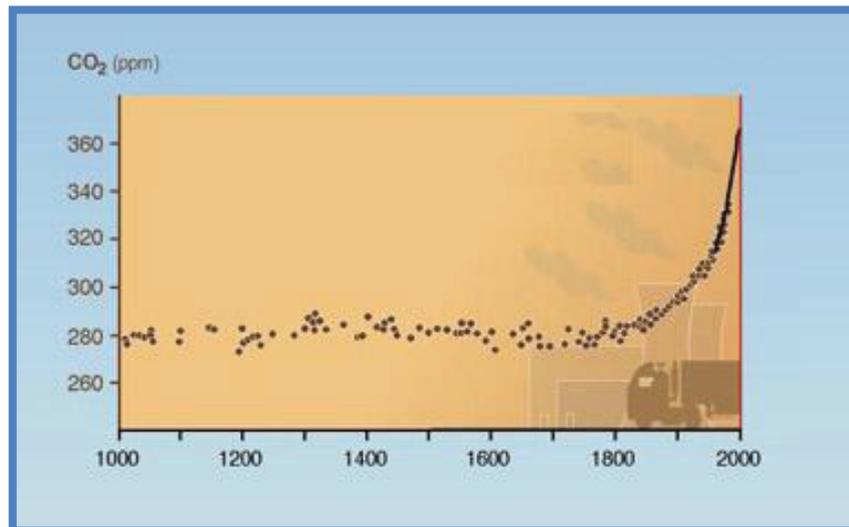



Figura 3.5: Aumento della concentrazione della CO_2 nell'aria

Inoltre la concentrazione del gas metano è più che raddoppiata e la concentrazione dell'ossido nitroso (N_2O) è cresciuta del 15%. Inoltre dati recenti indicano che le velocità di crescita delle concentrazioni di questi gas, anche se erano basse durante i primi anni '90, ora sono comparabili a quelle particolarmente alte registrate negli anni '80. Nei Paesi più sviluppati, i combustibili fossili utilizzati per le auto e i camion, per il riscaldamento negli edifici e per l'alimentazione delle numerose centrali energetiche sono responsabili in misura del 95% delle emissioni dell'anidride carbonica, del 20% di quelle del metano e del 15% per quanto riguarda l'ossido nitroso (o protossido di azoto). L'aumento dello sfruttamento agricolo, le varie produzioni industriali e le attività minerarie contribuiscono ulteriormente per una buona fetta alle emissioni in atmosfera. Anche la deforestazione contribuisce ad aumentare la concentrazione di anidride carbonica nell'aria, infatti le piante sono in grado di ridurre la presenza della CO_2 nell'aria mediante il processo fotosintetico. Il danno è ancora più evidente se si pensa che nel corso degli incendi intenzionali che colpiscono ogni anno le foreste tropicali viene emessa una quantità totale di anidride carbonica paragonabile a quella delle emissioni dell'intera Europa. Da notare che la respirazione dei vegetali e la decomposizione della materia organica rilasciano una quantità di CO_2 nell'aria 10 volte superiore a quella rilasciata dalle attività umane; queste emissioni sono state comunque bilanciate nel corso dei secoli fino alla Rivoluzione Industriale tramite la fotosintesi e l'assorbimento operato dagli oceani. Se le emissioni globali di CO_2 continuassero a mantenersi come in questi ultimi anni, le concentrazioni atmosferiche raggiungerebbero i 500 ppm per la fine di questo secolo, un valore che è quasi il doppio di quello pre-industriale (280 ppm). Il problema viene ulteriormente complicato dal fatto che molti gas serra possono rimanere nell'atmosfera anche per decine o centinaia di anni, così il loro effetto può protrarsi anche per lungo tempo. Come si può vedere dai grafici, la concentrazione dei principali gas serra è aumentata in maniera esponenziale a partire dall'avvento della Rivoluzione Industriale e continua ad aumentare. I dati che fanno riferimento al periodo in cui non erano ancora disponibili idonei strumenti di rilevamento delle concentrazioni dei gas serra sono stati ottenuti analizzando l'aria intrappolata nel ghiaccio risalente agli anni in esame.

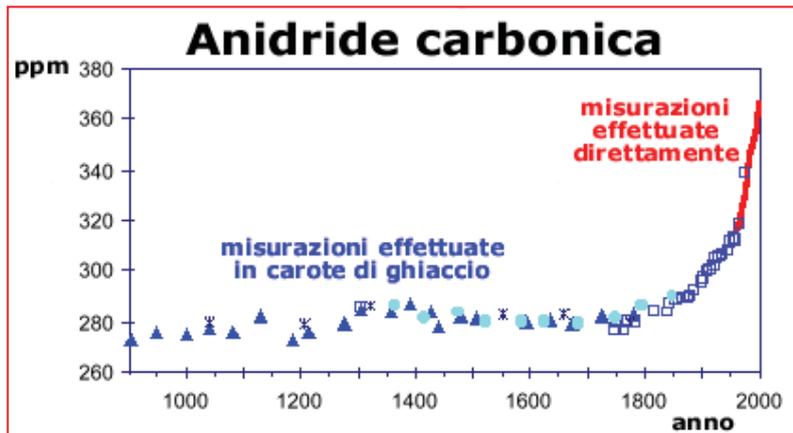



Fig. 3.6: Aumento della concentrazione di anidride carbonica

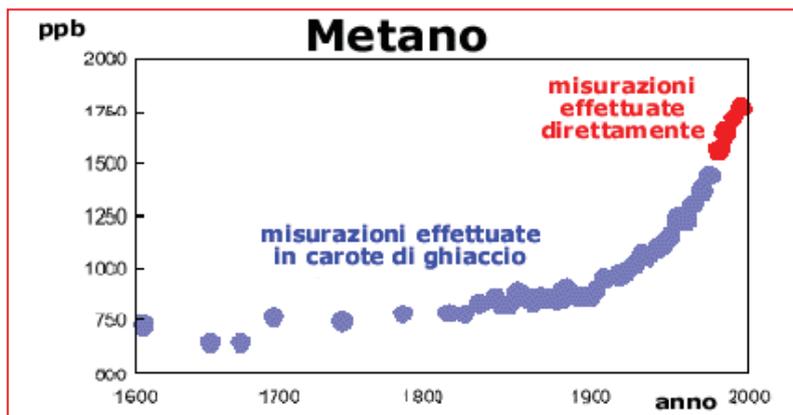



Fig. 3.7: Aumento della concentrazione di anidride carbonica

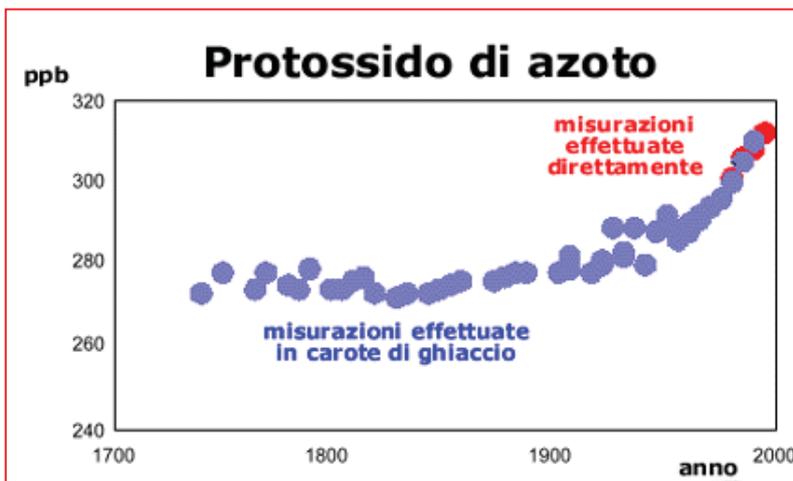



Fig. 3.8: Aumento della concentrazione dei principali gas serra

3.3.1.5 L'EFFETTO SERRA E L'ANIDRIDE CARBONICA

Il problema maggiore è rappresentato dall'anidride carbonica la cui concentrazione andrà sempre più aumentando, poiché questa, insieme all'acqua, è il prodotto finale della combustione dei combustibili fossili (carbone, petrolio e derivati, metano) che,come mostrano il grafico e la tabella sottostanti sono ancora le fonti di energia più utilizzate.

Tabella 3.2: Combustibili fossili maggiormente utilizzati

LE FONTI ENERGETICHE USATE NEL MONDO	
Petrolio	38%
Carbone	24%
Gas	20%
Nucleare	6%
Idraulica	2%
Biomassa (legno, ecc.)	8%
Nuove Rinnovabili (eolico, solare, ecc)	2%

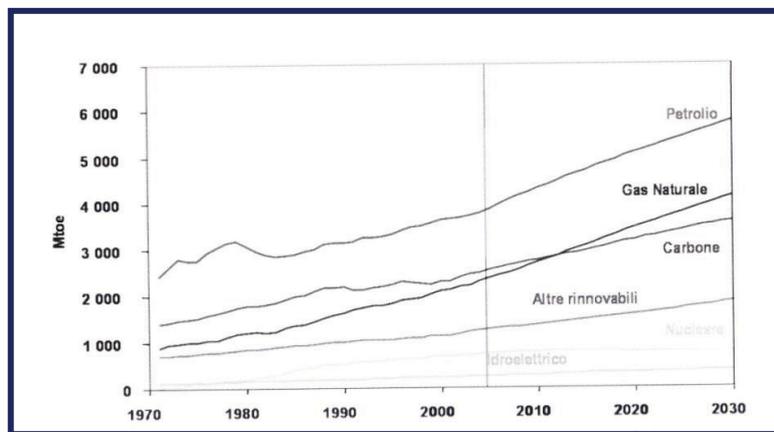



Fig. 3.9: Aumento utilizzo combustibile fossile dal 1970 ad oggi con una previsione sino al 2030

Inoltre il biossido di carbonio si scioglie facilmente in acqua: gli oceani ne contengono enormi quantità, ma l'aumento di temperatura (dovuto all'effetto serra) diminuisce la solubilità del gas in acqua liberando nuovo gas nell'atmosfera e accelerando il fenomeno. L'immagine di cui sotto,riporta il ciclo naturale dell'anidride carbonica,con indicato il contributo dovuto alle attività antropiche,quindi trasporti,riscaldamento degli edifici,industrie e cosi via. Nel ciclo naturale,notevole importanza rivestono le "green plants",in quanto assorbendo anidride carbonica ne riducono il tasso presente in atmosfera.

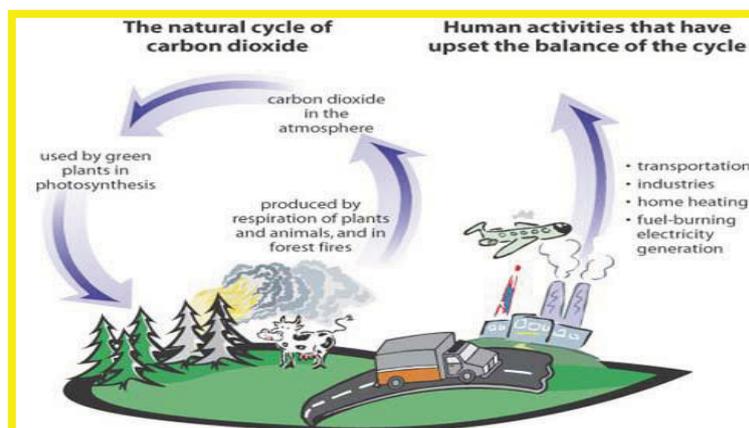



Fig. 3.10: Il ciclo naturale della CO_2

3.3.1.6 LE CONSEGUENZE DELL'EFFETTO SERRA

3.3.1.6.1 Cambiamenti climatici

Il clima del nostro pianeta è dinamico e si sta ancora modificando da quando la Terra si è formata. Le fluttuazioni periodiche nella temperatura e nelle modalità di precipitazione sono conseguenze naturali di questa variabilità. Vi sono comunque delle evidenze scientifiche che fanno presupporre che i cambiamenti attuali del clima terrestre stiano eccedendo quelli che ci si potrebbe aspettare a seguito di cause naturali. L'aumento della concentrazione dei gas serra in atmosfera sta causando un corrispondente incremento della temperatura globale della Terra. Le rilevazioni effettuate hanno dimostrato che undici degli ultimi dodici anni (1995-2006) sono stati i più caldi mai registrati da quando si hanno misure globali della temperatura alla superficie (dal 1850).Il riscaldamento è maggiore nelle aree urbane sia a causa dei cambiamenti che si sono verificati nelle coperture dei terreni che per il consumo di energia che avviene nelle aree densamente sviluppate (fenomeno conosciuto come "isole di calore"). In ogni caso, secondo l'IPCC, la probabilità che l'aumento delle temperature sia causato esclusivamente da fenomeni naturali è estremamente bassa, inferiore al 5%. L' IPCC individua infatti nelle attività di natura antropica le principali cause di cambiamenti climatici.

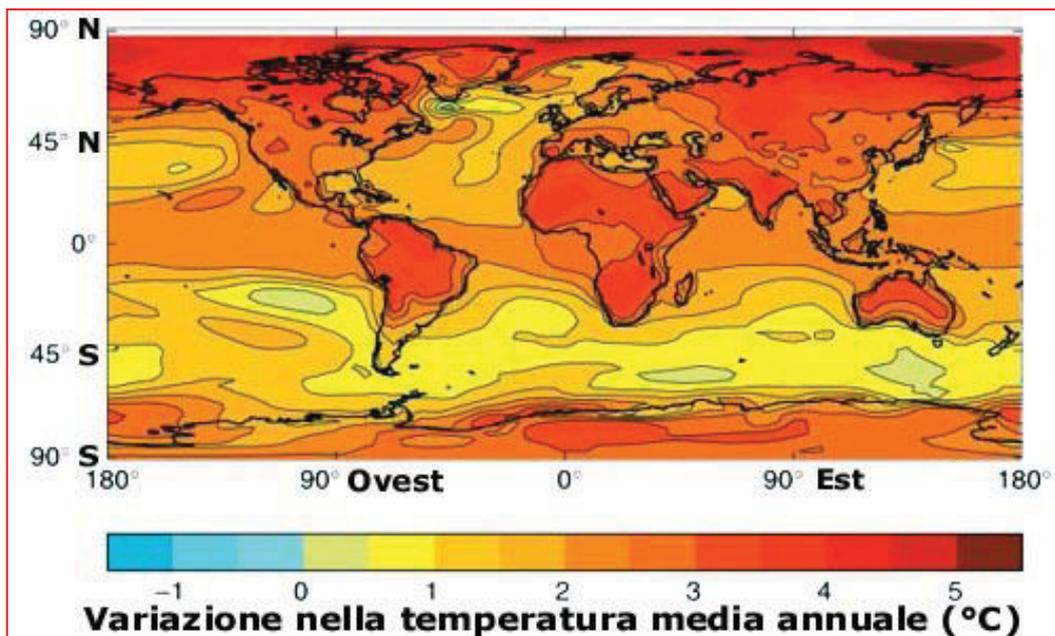



Fig. 3.11: Variazioni previste per la metà del secolo nelle temperature medie annuali

Nella figura sono rappresentate graficamente le variazioni previste per la metà di questo secolo nelle temperature medie annuali. Le variazioni sono ipotizzate sulla base dei valori di temperatura odierni nel caso in cui vi sia un aumento totale nelle concentrazioni atmosferiche dei gas serra equivalente ad un aumento annuo di anidride carbonica dell'1%. L'aumento delle temperature comporta degli inevitabili effetti a livello meteorologico. Con l'incremento della temperatura vi infatti è un conseguente aumento dell'evaporazione, per cui si ritiene che, a livello globale, l'inasprimento dell'effetto serra porterà ad una crescita delle precipitazioni e ad una maggiore frequenza delle tempeste di forte intensità. I calcoli sui cambiamenti climatici in aree specifiche sono molto meno affidabili di quelli globali e, di conseguenza, non è chiara la variazione che

avranno i climi regionali. Si ritiene, comunque, che l'aumento della temperatura,porterà una riduzione dell'umidità in varie regioni delle zone tropicali che andranno incontro a frequenti siccità. Un'ipotesi interessante è stata formulata a proposito delle future condizioni climatiche dell'Europa. Alcuni ricercatori ritengono che lo scioglimento dei ghiacci artici provocato dal riscaldamento globale comporterà un potenziamento delle correnti oceaniche provenienti dall'Artico. Queste causeranno la deviazione della Corrente del Golfo del Messico che attualmente lambisce le coste dell'Europa Occidentale e che contribuisce a mitigare le temperature del nostro continente. Il venir meno dell'effetto riscaldante della Corrente del Golfo potrebbe così paradossalmente condurre l'Europa settentrionale verso un raffreddamento, in un periodo in cui la maggior parte della Terra va incontro ad un riscaldamento. In ogni caso si è scoperto che, mentre la maggior parte della terra si sta riscaldando, le regioni che sono sottoposte alla ricaduta delle emissioni di biossido di zolfo si stanno in genere raffreddando. Le nuvole di solfati atmosferici prodotti dalle emissioni industriali raffreddano l'atmosfera riflettendo la luce solare verso lo spazio ed attenuano l'effetto dell'incremento della concentrazione dei gas serra; comunque i solfati hanno una permanenza atmosferica molto bassa e la loro presenza varia, anche di molto, nelle diverse zone della Terra.

3.3.1.6.2 Effetti sull'uomo

L'aumento delle temperature a causa del riscaldamento globale provocato dall'incremento della concentrazione dei gas serra nell'atmosfera può comportare sia effetti diretti che indiretti per la salute dell'uomo. Le temperature estremamente calde aumentano soprattutto i rischi fisici a carico delle persone che presentano problemi cardiaci. Questi soggetti sono più vulnerabili perché in condizioni termiche più elevate il sistema cardiovascolare deve lavorare di più per mantenere la temperatura corporea stabile. Il clima più caldo comporterebbe inoltre una maggiore frequenza dei colpi di calore ed un aumento della diffusione dei problemi respiratori. Le statistiche sulla mortalità e sui ricoveri ospedalieri dimostrano chiaramente che la frequenza delle morti aumenta nei giorni particolarmente caldi, in modo particolare fra le persone molto anziane e fra i malati di asma. In ogni luogo della Terra, la presenza e la diffusione delle malattie sono fortemente influenzate dal clima locale. In effetti molte malattie infettive potenzialmente mortali sono diffuse solamente nelle aree più calde del pianeta. Le temperature più elevate possono anche favorire l'aumento dell'inquinamento biologico delle acque, contribuendo alla proliferazione dei vari organismi infestanti. Molti ricercatori ritengono che l'inasprirsi dell'effetto serra comporterebbe un aumento del fenomeno dell'eutrofizzazione delle acque, con tutti i danni biologici, economici e sanitari che questo comporterebbe. Tutti questi problemi sarebbero di difficile soluzione anche per i Paesi Occidentali che dispongono di un patrimonio economico ed industriale enorme. Molti degli impatti del cambiamento climatico potrebbero comunque essere risolti tramite l'organizzazione ed il mantenimento di adeguati programmi a difesa dell'ambiente e della salute pubblica. Invece, nei Paesi del Terzo (e Quarto) Mondo, l'inasprimento delle condizioni ambientali provocherebbe delle situazioni sanitarie e sociali insostenibili anche a livello economico. L'aumento delle malattie, delle carestie e degli scontri sociali per la crescente povertà e precarietà della vita comporterà delle conseguenze inimmaginabili che finiranno per ricadere anche sui paesi più civilizzati, probabilmente a giusta condanna delle colpe di cui si sono macchiati nel corso di questi ultimi secoli.

3.3.1.6.3 Effetti sull'ambiente

L'incremento della temperatura della Terra può provocare una serie di effetti ambientali di notevoli proporzioni. L'aumento del calore e quindi dell'evaporazione dai grandi bacini idrici comporta un aumento corrispondente della quantità d'acqua in atmosfera e quindi un aumento delle precipitazioni. Alcuni ricercatori ritengono che queste siano cresciute di circa l'uno per cento su tutti i continenti nell'ultimo secolo. Le aree poste ad altitudini più elevate dimostrano incrementi più consistenti, al contrario le precipitazioni sono diminuite in molte aree tropicali. In ogni caso si nota una maggiore intensità delle piogge e dei fenomeni meteorologici più violenti (come le tempeste e gli uragani) con un conseguente aumento delle inondazioni e delle erosioni a carico del terreno. Il riscaldamento globale comporta anche una diminuzione complessiva delle superfici glaciali. Le grandi masse di ghiaccio della Groenlandia e dei ghiacciai continentali stanno arretrando notevolmente. L'aumento del volume oceanico a causa della temperatura più alta e lo scioglimento dei ghiacci provocano anche l'innalzamento del livello medio del mare. Basti pensare che negli ultimi cento anni,questo è cresciuto approssimativamente di 15-20 cm. Inoltre, in molte zone tropicali già si assiste ad una riduzione dell'umidità del suolo che comporta una diminuzione nella resa agricola; molte aree, anche in Europa, sono a rischio di desertificazione. Tutti questi effetti sono già scientificamente evidenti per i molti dati ottenuti a riguardo e si ipotizza un inasprimento della situazione attuale nel caso in cui le concentrazioni dei gas serra continuassero via via ad aumentare. Da notare che il riscaldamento globale continuerebbe comunque per secoli anche se venissero stabilizzate le concentrazioni dei gas serra in atmosfera: date le masse in gioco, le risposte del clima terrestre ai cambiamenti della composizione dell'atmosfera sono piuttosto lente. Attualmente, se le emissioni continuano a questo ritmo, si può ipotizzare uno scenario impressionante: i deserti potrebbero espandersi in terre ora semiaride; le foreste, i polmoni della terra, diminuirebbero ulteriormente nella loro estensione; intere popolazioni, ora in regime di sussistenza, non avrebbero più risorse idriche a disposizione; città costiere e numerose isole scomparirebbero nel mare.

CAPITOLO 4 – La Politica e l'Ambiente

4.1 Il Protocollo di Kyoto

Il protocollo di Kyōto è un trattato internazionale in materia ambientale riguardante il riscaldamento globale sottoscritto nella città giapponese di Kyōto l'11 dicembre 1997 da più di 160 paesi in occasione della Conferenza COP3 della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC). Il trattato è entrato in vigore il 16 febbraio 2005, dopo la ratifica anche da parte della Russia. Il 16 febbraio 2007 si è celebrato l'anniversario del secondo anno di adesione al protocollo di Kyōto, e lo stesso anno ricorre il decennale dalla sua stesura.

4.1.1 Obblighi

Il trattato prevede l'obbligo in capo ai paesi industrializzati di operare una riduzione delle emissioni di elementi inquinanti (biossido di carbonio ed altri cinque gas serra, ovvero metano, ossido di diazoto, idrofluorocarburi, perfluorocarburi ed esafluoruro di zolfo) in una misura non inferiore al 5% rispetto alle emissioni registrate nel 1990 — considerato come anno base — nel periodo 2008-2012. Perché il trattato potesse entrare in vigore, si richiedeva che fosse ratificato da non meno di 55 nazioni firmatarie e che le nazioni che lo avessero ratificato producessero almeno il 55% delle emissioni inquinanti;

4.1.2. Paesi aderenti e non aderenti

A novembre del 2001 si tenne la Conferenza di Marrakech, settima sessione della Conferenza delle Parti. In questa sede, 40 paesi sottoscrissero il Protocollo di Kyōto. Due anni dopo, più di 120 paesi avevano aderito al trattato, fino all'adesione e ratifica della Russia nel 2004. La sua adesione e' stata considerata importante poiché questo paese produce da solo il 17,6% delle emissioni e così e' stata raggiunta la condizione precedentemente accennata. All'aprile 2007 gli stati aderenti erano 169,mentre oggi, 174 Paesi e un'organizzazione di integrazione economica regionale (EEC) hanno ratificato il Protocollo o hanno avviato le procedure per la ratifica. Questi paesi contribuiscono per il 61,6% alle emissioni globali di gas serra. La Russia,come abbiamo prima detto ha aderito il novembre del 2004,mentre l'Australia, che aveva firmato ma non ratificato il protocollo, lo ha ratificato il 2 dicembre 2007. Invece altri paesi,come l''India e la Cina, che hanno ratificato il protocollo, non sono tenute a ridurre le emissioni di anidride carbonica nel quadro del presente accordo, nonostante la loro popolazione relativamente grande, al fine di non ostacolare la loro crescita economica frapponendovi oneri per essi particolarmente gravosi, Tra i Paesi non aderenti figurano gli USA, cioè i responsabili del 36,2% del totale delle emissioni (annuncio del marzo 2001). In principio, il presidente Bill Clinton aveva firmato il Protocollo durante gli ultimi mesi del suo mandato, ma George W. Bush, poco tempo dopo il suo insediamento alla Casa Bianca, ritirò l'adesione inizialmente sottoscritta. Alcuni stati e grandi municipalità americane, come Chicago e Los Angeles, stanno studiando la possibilità di emettere provvedimenti che permettano a livello locale di applicare il trattato. Anche se il provvedimento riguardasse solo una parte del paese, non sarebbe un evento insignificante: regioni come il New England, da soli producono tanto biossido di

carbonio quanto un grande paese industrializzato europeo come la Germania.

4.1.3 Termini e condizioni

I paesi in via di sviluppo, non sono stati invitati a ridurre le loro emissioni. A tali paesi la crescita delle emissioni di anidride carbonica e degli altri gas serra sta avvenendo ad un ritmo che è circa triplo (+25% nel periodo 1990-1995) di quello dei Paesi sviluppati (+8% nello stesso periodo). La stima delle future emissioni diventa così estremamente difficile perché dipende dai vari trend demografici, economici, tecnologici e dagli sviluppi politici ed istituzionali di tutti i paesi del pianeta. In ogni caso, senza delle misure più restrittive volte alla limitazione delle emissioni, la concentrazione atmosferica dei gas serra continuerà ad aumentare fino a provocare dei danni climatici impensabili. Premesso che l'atmosfera terrestre contiene 3 milioni di megatonnellate (Mt) di CO_2, il Protocollo prevede che i paesi industrializzati riducano del 5% le proprie emissioni di questo gas. Il mondo immette 6.000 Mt di CO_2, di cui 3.000 dai paesi industrializzati e 3.000 da quelli in via di sviluppo; per cui, con il protocollo di Kyōto, se ne dovrebbero immettere 5.850 anziché 6.000, su un totale di 3 milioni.

4.1.3.1 MECCANISMI FLESSIBILI

Ancora il protocollo prevede, per i Paesi aderenti, la possibilità di servirsi di un sistema di meccanismi flessibili per l'acquisizione di crediti di emissioni,quindi:

1. il Clean Development Mechanism
2. la Joint Implementation
3. l'Emissions Trading

studiati allo scopo di aiutare i paesi industrializzati a ridurre i costi associati al conseguimento dei loro impegni di riduzione,realizzando interventi in Paesi dove i costi di abbattimento o assorbimento sono più bassi.
Tali meccanismi possono essere utilizzati da tutti i paesi industrializzati che rispettino i seguenti requisiti:

- devono aver ratificato il Protocollo di Kyoto;
- devono aver calcolato la loro quantità assegnata in tonnellate di CO2 eq.
- devono aver predisposto ed avviato un sistema nazionale per la stima delle emissioni e degli assorbimenti di gas serra e trasmettere tali informazioni annualmente al Segretariato;
- devono aver predisposto ed avviato un registro nazionale delle emissioni per contabilizzare le quote di emissioni rilasciate, possedute, trasferite, restituite e cancellate e trasmettere tali informazioni annualmente al Segretariato;
- devono dimostrare che l'utilizzo dei meccanismi è solo aggiuntivo rispetto alle azioni intraprese a livello nazionale.

Secondo quanto previsto dagli Accordi di Marrakesh, anche le imprese, organizzazioni non governative ed altre persone giuridiche possono partecipare ai meccanismi flessibili, ma solo sotto la responsabilità del Paese di appartenenza.
A questo punto,possiamo fare un' analisi dettagliata di questi meccanismi:

1. **Clean Development Mechanism (CDM)**: consente ai paesi industrializzati e ad economia in transizione di realizzare progetti nei paesi in via di sviluppo, che producano benefici ambientali in termini di riduzione delle emissioni di gas-serra e di sviluppo economico e sociale dei Paesi ospiti e nello stesso tempo generino crediti di emissione (CER) per i Paesi che promuovono gli interventi.
2. **Joint Implementation (JI)**: consente ai paesi industrializzati e ad economia in transizione di realizzare progetti per la riduzione delle emissioni di gas-serra in un altro paese dello stesso gruppo e di utilizzare i crediti derivanti, congiuntamente con il paese ospite.
3. **Emissions Trading (ET)**: consente lo scambio di crediti di emissione tra paesi industrializzati e ad economia in transizione; un paese che abbia conseguito una diminuzione delle proprie emissioni di gas serra superiore al proprio obiettivo può così cedere (ricorrendo all'ET) tali "crediti" a un paese che, al contrario, non sia stato in grado di rispettare i propri impegni di riduzione delle emissioni di gas-serra.

4.1.3.2 PERIODO DI ADEMPIMENTO E PREVISIONI

Il 1°Gennaio 2008 è iniziato il periodo di adempimento del Protocollo di Kyoto,che prevede per l'Unione Europea un taglio delle emissioni di gas serra dal 5% all' 8% rispetto alle emissioni del 1990. Stando all'ultimo Rapporto dell'Agenzia europea dell' Ambiente,le emissioni dell' Unione Europea 15 sono state ridotte del 2% rispetto ai valori del 1990. Le previsioni di riduzione per il 2010 sono di gran lunga migliori di quelle dell'anno precedente. Inoltre, sempre,secondo l'Agenzia Europea dell'Ambiente(AEA),sono in linea con le proiezioni attuali: l'UE (a 15) supererà gli obiettivi del protocollo di Kyoto. Va detto che 12 dei 15 Stati membri prevedono di raggiungere i loro obiettivi iniziali grazie all'accostamento di misure nazionali a meccanismi europei. E' proprio questa la nota dolente: soltanto l'attuazione e l'utilizzo di misure aggiuntive, dei serbatoi di carbonio e dei meccanismi di Kyoto, consentiranno di raggiungere questo ambizioso obiettivo. India e Cina,insieme ad altri paesi in via di sviluppo sono stati esonerati dagli obblighi del protocollo di Kyōto perché essi non sono stati tra i principali responsabili delle emissioni di gas serra durante il periodo di industrializzazione che si crede stia provocando oggi il cambiamento climatico. I paesi non aderenti sono responsabili del 40% dell'emissione mondiale di gas serra. Qua dobbiamo accennare le parole pronunciate a New York,durante la riunione convocata per i cambiamenti climatici,dal presidente della Cina e che rivelano palesemente obiettivi ambiziosi per la riduzione delle emissioni di gas del effetto serra. Infatti secondo le sue dichiarazioni la Cina procederà alla riduzione,in modo significativo entro il 2020,dell' emissioni di anidride carbonica per unità di produzione economica rispetto al 2005,con un senso di responsabilità verso le persone ed i popoli di tutta la terra essendo consapevoli dell'importanza e della assoluta necessità di combattere il cambiamento climatico. Hu Jintao ha anche promesso che la Cina pianterà foreste sufficienti a coprire un'area delle dimensioni di Norvegia,con la prospettiva che in un decennio il 15% del consumo di energia sarà proveniente da fonti energetiche rinnovabili. Ma a parte la buona volontà rimane sempre il fatto della posizione consolidata della Cina,il cui presidente ha ribadito per ancora una volta: non si può chiedere ai paesi in via di sviluppo ad assumere impegni che superano il loro livello di sviluppo.

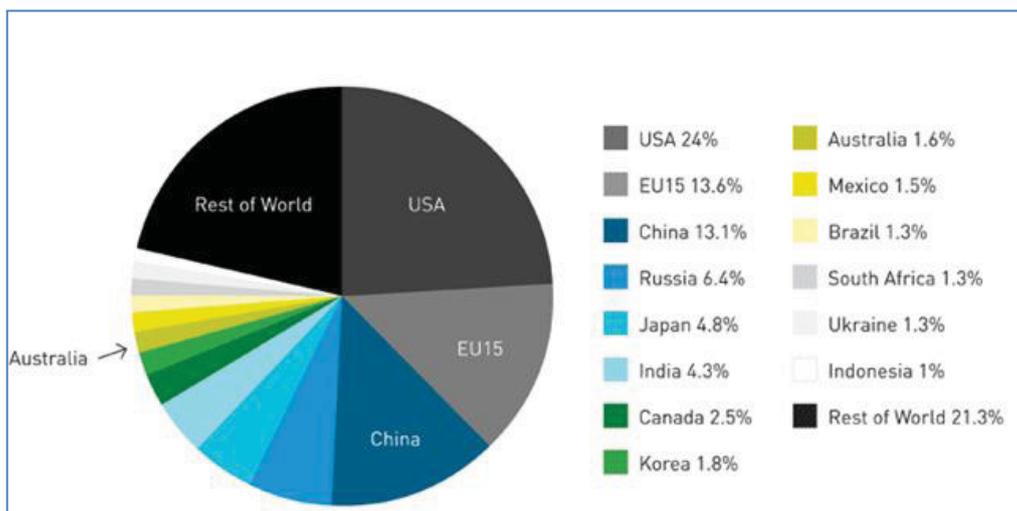



Fig. 4.1: Emissioni internazionali di anidride carbonica

Tabella 4.1: Percentuale di riduzione di gas serra entro il 2012

PERCENTUALE DI RIDUZIONE DI GAS SERRA ENTRO IL 2012 RISPETTO AI LIVELLI DEL 1990	
Mondo	**5,2%**
Unione Europea	**8%**
Russia	**0%**
Stati Uniti	**7%**
Giappone	**6%**
Italia	**6,5%**
Paesi in via di sviluppo	**nessuna limitazione**

4.1.3.3 SANZIONI

In caso di inadempienza agli obblighi previsti dal Protocollo di Kyoto sono previste sanzioni per i paesi partecipanti. Il meccanismo sanzionatorio definito all'interno del processo attuativo del Protocollo di Kyoto (decisione 27/CMP.1), si propone di facilitare, promuovere e rafforzare il rispetto degli impegni fissati,assicurando al tempo stesso trasparenza e credibilità al sistema. Essendo il primo strumento messo in atto per raggiungere gli obiettivi della Convenzione e viste anche le difficoltà nel raggiungere un accordo tra le Parti, si è scelta una linea strategica non orientata a sanzionare economicamente gli Stati in maniera diretta ma a responsabilizzarli in vista dei periodi di impegno successivi. Nel caso di mancato rispetto dell'impegno di riduzione delle emissioni, il Protocollo di Kyoto prevede dunque l'applicazione delle seguenti sanzioni:

- maggiorazione del 30% sulla quantità di emissioni che mancano al raggiungimento dell'obiettivo, addebitata in aggiunta agli obblighi che verranno stabiliti nel secondo periodo d'impegno;

- viene previsto l’obbligo di adozione di un piano d’azione per il rispetto dei propri obiettivi;
- può essere disposta la sospensione dalla partecipazione all’emissions trading.

Invece nel caso di mancato rispetto degli impegni di riduzione negoziati con il Burden Sharing Agreement,cioè del Accordo europeo, siglato nel 1998, che ha definito la ripartizione delle quote di riduzione delle emissioni nei Paesi dell’ UE 15,i Paesi membri dell’Unione europea potranno inoltre essere soggetti ad una procedura di infrazione su iniziativa della Commissione. Anche se il Protocollo di Kyoto non prevede sanzioni economiche dirette,il mancato raggiungimento degli obiettivi risulta particolarmente oneroso in termini di credibilità internazionale, appesantimento degli obblighi nel secondo periodo di impegno e il rischio di non partecipare all’emissions trading. Concludendo possiamo dire che già dal dicembre del 2007, durante la Conferenza di Bali, è stato lanciato il discorso sul dopo Kyoto.Nel corso dell’evento è stata adottata una “Road map”,anche da parte degli Stati Uniti e dei Paesi ad economia emergente quali Cina ed India,che prevedeva la definizione di meccanismi per attuare l’appoggio tecnologico e finanziario dei paesi sviluppati verso i Paesi ad economia emergente ed in via di sviluppo, decisivo per ridurre le loro emissioni di gas serra. Questa aveva una scadenza ben precisa: la Conferenza di Copenaghen del 2009, dove sono stati definiti i nuovi impegni in materia di cambiamenti climatici.

4.1.3.4 STATO DI ATTUAZIONE DEL PROTOCOLLO DI KYOTO IN ITALIA

L’Italia ha ratificato il Protocollo con la legge n. 120 del 1 giugno 2002. Gli Stati membri con maggiori difficoltà a rispettare i propri impegni sono la Danimarca, la Spagna e l’Italia, che rappresenta il terzo paese emettitore dell’Unione europea. Questi paesi si trovano in fondo alla classifica a causa dell’aumento di produzione delle centrali termiche a combustibili fossili e per il momento non sembrano essere in grado,di soddisfare gli obiettivi fissati per il 2010.

4.1.3.4.1 Obblighi e situazione attuale

L’ Italia deve ridurre le sue emissioni di gas serra nel periodo 2008 – 2012 del 6,5% rispetto al 1990.I dati ufficiali del 2005 indicano un aumento delle emissioni nel paese del 12,1%. Le stime degli ultimi due anni indicano invece un trend di riduzione delle emissioni collocando l’Italia,alla fine del 2007,a valori sicuramente al di sotto del 10%. E’ interessante leggere l’attuale disputa Europa-Italia sulla politica climatica con la consapevolezza della posizione del nostro paese rispetto agli obiettivi del protocollo di Kyoto, ormai alla seconda fase di attuazione. L’Agenzia Europea per l’Ambiente (AEA) ha pubblicato il rapporto annuale “Greenhouse Gas Emission Trends And Projections in Europe, 2008”, studio che ogni anno illustra il percorso di ciascun paese europeo nel raggiungimento del proprio obiettivo di riduzione di emissioni di gas serra. Quest’anno le previsioni, nel complesso, sono positive: afferma, infatti, lo studio che l’UE-15 dovrebbe, per il periodo 2008-2012, conseguire il suo obiettivo congiunto di riduzione di emissioni dell’8%. Questo miglioramento in Italia è dovuto principalmente a condizioni climatiche invernali più miti, ma presenta anche qualche elemento strutturale dovuto al verificarsi di un disaccoppiamento tra crescita economica e consumi energetici ed ai provvedimenti presi nell’ultimo periodo. La Quarta Comunicazione Nazionale all’UNFCCC, alla cui redazione ha partecipato l’ENEA, fa un quadro organico dello stato attuale e valuta la distanza da Kyoto, tenendo conto dello scenario tendenziale al 2010, in 103,7 Mt CO_2 eq.

4.1.3.4.2 Misure adottate per la tutela dell' ambiente

Per colmare la distanza dal Protocollo di Kyoto ,il governo italiano si propone di attuare misure finalizzate all' assorbimento di carbonio e alla costruzione di impianti di produzione di energia elettrica a partire da fonti rinnovabili. Tali misure riguardano anche l'utilizzo dei meccanismi flessibili. Basti pensare ai sistemi di incentivazione del fotovoltaico,e quelli di promozione dell'efficienza energetica negli edifici, della cogenerazione e dell'utilizzo dei biocombustibili nei trasporti, agli incentivi previsti dalla legge finanziaria 2007 ed alle misure di incentivazione a carattere più strutturale previste dalla legge finanziaria 2008. Meritano inoltre di essere citati anche i nuovi obiettivi di risparmio energetico negli usi finali recentemente adottati. Lo strumento messo in atto per definire una risposta organica di adeguamento agli obiettivi è rappresentato dalla delibera CIPE approvata il 11 dicembre del 2007. Rimane a vedere se l'Italia riuscirà a mantenere gli impegni assunti nell'ambito del Protocollo di Kyoto,siccome per un lungo periodo ha sottovalutato l'importanza degli impegni sottoscritti a Kyoto.

4.1.3.4.3 Sanzioni per mancato adeguamento agli obblighi

Nel 2009 l' Italia non e' riuscita a mantenere gli impegni e per questo motivo dovrà pagare cifre altissime a titolo di "multa" o meglio d'acquisto di diritti all'emissione di CO_2,per aver sfondato ampiamente il tetto della produzione di CO_2 concordata e pattuita nell'ambito del protocollo di Kyoto. Per il 2009 si tratta di Cinquecentocinquanta milioni di euro,che potrebbero diventare 840 entro il 2012. È il conto, salato, che l'Italia rischia di pagare se vuole rispettare il tetto imposto alle emissioni di CO2,gas responsabile dell'effetto serra e del riscaldamento globale. Infatti rispetto ai limiti imposti dall'Europa (l'Italia tra il 2009 e il 2012 può liberare nell'aria 201 milioni di tonnellate di CO2), avremo emissioni in eccesso per 56 milioni di tonnellate. Ciò rappresenta un costo: per produrre corrente elettrica, cemento, acciaio e altre materie prime essenziali, il paese dovrà acquistare sui mercati internazionali dell'anidride carbonica,diritti di emissioni che costano in media sui 12-15 euro la tonnellata. La stima di spesa per rientrare nei parametri è così nell'ordine degli 840 milioni. I tempi sono stretti. Nel solo 2009 si stimano 37 milioni di tonnellate di anidride carbonica di troppo, pari appunto a un costo di 550 milioni. Ovviamente, tutto ciò non avrebbe alcun beneficio ambientale e si limiterebbe in un trasferimento semplice e diretto di denaro dai cittadini italiani verso chi ha diritti di emissione. L'allarme viene da una relazione del Comitato di gestione del Protocollo di Kyoto italiano, autorità che ogni paese europeo deve darsi per seguire gli aspetti operativi e tecnici per ridurre la CO_2 liberata in aria. La relazione dice che il piano nazionale delle emissioni per il periodo 2008-2012 ha attribuito agli impianti esistenti 184,7 milioni di tonnellate di CO_2 l'anno, mentre 16,93 milioni di tonnellate l'anno sono state destinate alla riserva nuovi entranti ovvero agli impianti che al momento della notifica del piano nazionale alla Commissione europea non avevano ancora ottenuto l'autorizzazione ad emettere gas ad effetto serra o non erano ancora entrati in esercizio. La rilevante differenza tra il fabbisogno stimato e l'assegnazione delle quote con il piano nazionale, come previsto ha determinato e sta determinando una situazione di particolare criticità, soprattutto per quanto riguarda la riserva nuovi entranti. Tutto è iniziato nel febbraio 2008,quando l'Italia aveva proposto a Bruxelles un "tetto" massimo annuale di quote inferiore di almeno il 15% rispetto al fabbisogno necessario: 201,63 milioni di tonnellate, contro una stima di almeno 230 milioni data dai ministeri dell'Ambiente e dello Sviluppo Economico. Proposta piaciuta a Bruxelles e a tutti gli altri paesi europei, pronti a vendere a caro prezzo alle imprese italiane i diritti di emissione che loro avevano in eccesso. Il governo di allora ha preso l'impegno,per

proteggere la competitività delle imprese italiane,che in caso di deficit di quote ,di comprare con soldi pubblici i diritti e a donarli a tutti i nuovi impianti industriali che sarebbero entrati in servizio a partire dal 2008. In altre parole, è stato scaricato sul pubblico il costo di una distorsione ideologica a danno dell'economia italiana. Per il Comitato di gestione di Kyoto, come soluzione potrebbe essere valutato il ricorso a un soggetto terzo (come la Cassa depositi e prestiti) per anticipare i soldi necessari a comprare i diritti di emissione,con un successivo rimborso da parte del sistema pubblico,siccome questo tetto inferiore ha comportato costi aggiuntivi ed effetti distorsivi per l'economia italiana.

4.2 L' America e l`ambiente

Per quando riguarda gli Stati Uniti,le loro posizioni,in riguardo ai cambiamenti climatici,sono decisamente cambiati con l'arrivo del nuovo presidente. La determinazione di Obama ad affrontare in modo aggressivo la questione climatica,contrasta con l'atteggiamento tenuto per otto anni dalla amministrazione Bush in materia ambientale: la Casa Bianca ha difeso (fino a restare isolata) il più a lungo possibile la tesi che era ancora tutto da dimostrare il collegamento tra mutamenti climatici e le attività inquinanti umane.

4.2.1 Nuova politica per l' ambiente

4.2.1.1 OBIETTIVI

Il programma politico di Barack Obama risulta deciso e articolato in campo ambientale ed energetico. Combattere i cambiamenti climatici e ridurre al minimo la dipendenza dalle fonti fossili straniere sono i due obiettivi principali,obiettivi per i quali gli Stati Uniti investiranno nella ricerca e nella diffusione di energia da fonti rinnovabili, nell'efficienza energetica di edifici e veicoli e nella tecnologia per nuovi carburanti a basso contenuto di carbonio. Intanto lo sguardo è rivolto al summit mondiale sul clima che si e' tenuto a dicembre del 2009 a Copenhagen. Tra i compiti più immediati del nuovo team di Obama sull'energia e ambiente vi sarà quello di riesaminare, e probabilmente cancellare, molte delle norme approvate dalla amministrazione Bush in materia di inquinamento, norme che avevano scatenato le proteste degli ambientalisti per il loro contenuto non troppo 'verde'.

4.2.1.2 FORUM PER L'AMBIENTE

Il presidente degli Stati Uniti,il quale ha deciso di re-instituire il Forum delle Maggiori Economie in materia di energia e clima, ha convocato i 17 paesi che vantano le più grandi economie mondiali, ma anche la maggiore responsabilità dell'emissione di gas serra nell'atmosfera, a Washington il settembre di 2009. I partecipanti, oltre agli Stati Uniti,sono: Australia, Brasile, Canada, Cina, Corea del Sud, Francia, Germania, Giappone, Gran Bretagna, India, Indonesia, Italia, Messico, Russia e Sudafrica. L'obiettivo immediato di tali incontri tra i leader mondiali è di gettare le basi per un accordo condiviso sulla politica climatica da seguire in vista dei negoziati ONU che si e' tenuto a Copenaghen a dicembre del 2009

4.2.1.3 "NUOVA ENERGIA PER L'AMERICA"

L'ecologia – soprattutto l'aspetto energetico e i cambiamenti climatici – è una tematica tenuta molto

in considerazione dal nuovo presidente statunitense, come si evince dal programma di governo presentato,nella cui introduzione si legge quanto riportato in seguito: “Per decenni Washington ha fallito nel risolvere il problema della dipendenza dal petrolio a causa di parzialità, eccessiva influenza di interessi particolari e di politici che preferivano proporre trucchetti per andare avanti nell’arco di tempo del governo piuttosto che soluzioni a lungo termine in grado di avvicinare l’America all’indipendenza energetica.” Infatti già ai tempi del governo Bush, Al Gore si batteva per la salvaguardia del pianeta,additando gli Stati Uniti come uno dei maggiori responsabili dell’emissione di gas serra. La sua però era una posizione esterna al Governo, in un momento in cui invece l’amministrazione Bush era del tutto sorda ai richiami al senso di responsabilità provenienti dai Paesi europei e non solo. Al contrario, Obama è ora a capo della nazione più potente del mondo ed è molto deciso ad agire velocemente per trasformare l’intera economia, le auto e i carburanti. Il programma è complesso e si caratterizza proprio per il fatto che l’intento della Casa Bianca è quello di agire tempestivamente, ma anche di gettare le basi per profondi mutamenti nella politica energetico-ambientale, da attuarsi e portare avanti in un arco di tempo superiore a quello dettato dai limiti elettorali. Il piano, chiamato “Nuova Energia per l’America”, prende le mosse dalla constatazione che la nazione deve affrontare due sfide fondamentali: la dipendenza dal petrolio straniero e il cambiamento climatico globale, entrambi dovuti all’attuale dipendenza dell’economia del paese dai combustibili fossili. Pertanto in primo luogo deve essere affrontata la questione clima impegnandosi a ridurre le emissioni di anidride carbonica dell’80% entro il 2050, tramite l’attuazione di un programma definito “cap and trade”;in pratica – fissata una soglia di emissioni “lecite” - tutti i crediti di inquinamento verranno messi all’asta,in modo che ogni industria paghi per ogni tonnellata di gas serra rilasciati nell’ambiente, anziché essere assegnati alle compagnie sulla base dell’apporto dell’ emissioni dato nel passato. Parte delle entrate provenienti dalla vendita dei diritti d’inquinamento verranno impiegate dall’amministrazione per fare investimenti che portino ad una minore dipendenza degli Stati Uniti dal petrolio straniero e ad un rapido sviluppo delle tecnologie a bassa emissione di carbonio. In vista di ciò, 150 milioni di dollari saranno impiegati, nell’arco di 10 anni, per “costruire un futuro ad energia pulita”, ossia nello sviluppo delle fonti rinnovabili, nella promozione dell’efficienza energetica, nella ricerca nel campo di nuovi carburanti ecologici e di motori ibridi.

Tutto ciò porterà alla creazione di 5 milioni di nuovi posti di lavoro, definiti “verdi”, per i quali sono previsti opportuni corsi di formazione per gli addetti. Sta a cuore infatti al Presidente che il lavoro venga svolto all’interno dei confini nazionali, senza far ricorso ad appalti verso l’esterno,sia per garantire posti di lavoro ai connazionali, sia per marcare maggiormente l’obiettivo del raggiungimento di un’indipendenza dall’estero, in campo energetico. Gli investimenti nel campo nelle rinnovabili rappresentano una nota molto importante del programma. L’idea è quella di assicurare un crescente approvvigionamento di elettricità da fonti pulite e sostenibili, quali sole, vento e geotermia: le percentuali fissate sono del 10% entro il 2012 e 25% entro il 2025, ma la diversificazione di sorgenti non vede un futuro esclusivamente verde, infatti si continuerà a far ricorso alle centrali a carbone come a quelle nucleari. L’amministrazione Obama, però, intende incentivare gli investimenti privati nella ricerca di soluzioni per la realizzazione di impianti a carbone ad emissioni zero (di gas serra). Quanto al nucleare, consapevole dell’impossibilità di raggiungere gli spinti obiettivi climatici posti se si elimina tale fonte di energia, si ritiene opportuno che, prima di prendere in considerazione un’espansione del nucleare, occorre risolvere i problemi inerenti la sicurezza degli impianti come dei materiali utilizzati e dello stoccaggio delle scorie.

Sappiamo però bene che gli Stati Uniti sono fra i paesi che sprecano maggior energia al mondo, ossia consumano più di quanto abbiano bisogno, a causa del loro stile di vita e della scarsa efficienza energetica dei loro edifici e mezzi di trasporto. A prenderne atto è ora anche l'amministrazione, che anziché passar sopra questa nota realtà, si è posto l'obiettivo di ridurre la domanda di elettricità, entro il 2020, del 15% rispetto ai valori attesi dal Dipartimento di Energia. Secondo le stime, ciò porterà, di conseguenza, al risparmio di 130 milioni di dollari e ridurrà le emissioni di anidride carbonica di svariati milioni di tonnellate. Tale obiettivo sarà raggiunto agendo,in primo luogo, sui parametri di efficienza energetica delle costruzioni. Gli edifici di nuova realizzazione dovranno avere,infatti,un'efficienza maggiore del 50% rispetto a quella dei fabbricati attuali, mentre quelli già esistenti dovranno essere sottoposti gradualmente ad interventi migliorativi atti a un incremento del 25% entro il 2030. A dare il buon esempio sarà il governo federale, il quale si affretterà a mettere al passo con i nuovi standard tutti gli edifici federali presenti o in programma di costruzione. Sarà inoltre dato impulso allo sviluppo della cosiddetta "rete intelligente", vale a dire un sistema su vasta scala che integri le varie fonti di energia, quali solare, eolico, biogas e idroelettrico, andando a prelevare energia dove è disponibile per trasferirla ove necessaria. Essa permetterebbe di aggirare il problema dato dal fatto che le fonti rinnovabili, per loro natura, non garantiscono un'erogazione continua e costante. La rete intelligente amministrerebbe i flussi, basandosi sul fatto che in ogni momento c'è qualche zona in cui batte il sole o soffia il vento o l'acqua scorre, sebbene per ciascuna di esse l'intensità sia variabile nell'arco della giornata o delle stagioni. Infine, la politica per il risparmio energetico e la conversione ad un futuro verde si occupa anche dei mezzi di trasporto. Si propone a tal proposito di investire nella ricerca tecnologica al fine di collocare sulle strade, entro il 2015, 1milione di veicoli elettrici o ibridi e di sviluppare tecnologie per la prossima generazione di biocarburanti. E' stato anche stabilito uno standard unico per i carburanti – di tutti i tipi – in termini di contenuto in carbonio: quest'ultimo dovrà essere ridotto del 5% entro dieci anni e di altrettanto nei successivi cinque. Un programma complesso e ambizioso, senza dubbio, che lascia ben sperare, anche se poi spesso quello che si scrive non si traduce in realtà. Il nuovo Presidente degli Stati Uniti appare però molto deciso e incisivo: sembra dunque che una nuova era ecologico-energetica stia davvero arrivando per l'America. Possiamo,quindi, affermare,che la nuova politica Americana per l'ambiente porge le premesse per un accordo sui cambiamenti climatici e in questo modo gli Stati Uniti si allineano all'Europa, procedendo in maniera spedita,sulla strada della Green Economy, percorso che l' ha già iniziato da tempo.

4.3 Azione dell'UE contro i cambiamenti climatici

Combattere i cambiamenti climatici è una delle maggiori sfide che dobbiamo affrontare. Se non agiamo subito a livello globale per stabilizzare le temperature in costante aumento sulla superficie terrestre, il danno potrebbe essere irreparabile e il bilancio catastrofico.

4.3.1 Strategia Europea

Nel dicembre del 2008 l'UE ha adottato una strategia integrata in materia di energia e cambiamenti climatici, che fissa obiettivi ambiziosi per il 2020. Lo scopo è indirizzare l'Europa sulla giusta strada verso un futuro sostenibile sviluppando un'economia a basse emissioni di CO2 improntata all'efficienza energetica. Siglato nel Marzo del 2007, l'Accordo, trasformatosi nella Direttiva

Europea chiamata, appunto, 20-20-20, si prefigge come obiettivo la riduzione del riscaldamento globale del Pianeta rafforzando i propositi del protocollo di Kyoto ed imponendo condizioni più restrittive.

4.3.1.1 MISURE ADOTTATE

Sono previste le seguenti misure:

- ridurre i gas ad effetto serra del 20% (o del 30%, previo accordo internazionale);
- ridurre i consumi energetici del 20% attraverso un aumento dell'efficienza energetica;
- soddisfare il 20% del nostro fabbisogno energetico mediante l'utilizzo delle energie rinnovabili.

Traguardi da raggiungere tutti entro la data del 2020. Inoltre tali misure ridurranno anche la dipendenza dalle importazioni di gas e idrocarburi e proteggeranno l'economia dalla volatilità dei prezzi energetici e dall'incertezza delle forniture.

4.3.1.2 LE STRATEGIE

Il riscaldamento globale è causato dall'eccessiva produzione e dallo smodato consumo di energia da parte dell'uomo. Con il crescere del nostro fabbisogno energetico aumenta anche la nostra dipendenza dai combustibili fossili (petrolio, gas naturale e carbone), che producono ingenti volumi di CO2 e rappresentano attualmente circa l'80% del consumo di energia dell'UE. Affinché l'UE possa raggiungere i suoi obiettivi e combattere i cambiamenti climatici,è essenziale che trasformi radicalmente i suoi modelli di produzione e consumo di energia. L'azione dell'UE affronta quindi una serie di temi chiave quali il mercato dell'energia elettrica e del gas, le fonti energetiche, il comportamento dei consumatori e una maggiore cooperazione internazionale. Più del 50% dell'energia che consumiamo proviene da paesi extra europei e il tasso di dipendenza è in aumento. Gran parte dell'energia arriva dalla Russia, le cui dispute con i Paesi di transito hanno provocato ripetute interruzioni delle forniture negli ultimi anni. L'Unione Europea deve pertanto sorvegliare più attentamente le sue forniture di petrolio e di gas ed essere meglio preparata in caso di una nuova emergenza energetica. Per decenni i paesi dell'UE hanno mantenuto riserve petrolifere di emergenza. L'UE vuole che diventi più facile attingere a tali scorte e intende stabilire i tempi e le modalità del loro impiego.
Un'altra importante priorità è la creazione di un corridoio meridionale con gasdotti per il trasporto del gas dalla regione del Mar Caspio verso l'Europa passando attraverso la Turchia. I lavori di costruzione potrebbero iniziare già nel 2010. L'UE punta inoltre a rafforzare le sue reti energetiche (ossia le linee elettriche e le condutture che riforniscono le case e le imprese di energia elettrica, gas e petrolio) e ad adattarle in vista dell'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili, tra cui l'energia eolica. La strategia dell'UE comporta un impegno costante a promuovere l'efficienza energetica, ad esempio attraverso la costruzione di edifici a basso consumo energetico,sostenibili dal punto di vista ambientale e la ristrutturazione di quelli già esistenti. Un'altra proposta prevede l'introduzione dell'etichetta energetica per i pneumatici a partire dal 2012. Inoltre sono in cantiere altre proposte legislative per separare (disaggregare) la fornitura di gas ed energia elettrica dalla produzione. Lo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili contribuirà inoltre a ridurre la dipendenza dell'UE dalle

importazioni di petrolio e gas, rendendola meno vulnerabile alle fluttuazioni dei prezzi energetici e alle incertezze sul fronte degli approvvigionamenti. La strategia dell'UE in materia di energia e cambiamenti climatici è in linea con l'impegno dell'Europa a promuovere la crescita economica e occupazionale. Anticipando la rivoluzione energetica si creeranno anche nuove opportunità sul fronte delle imprese e della ricerca.

4.3.1.3 IL RUOLO DEGLI STATI MEMBRI

I singoli Stati membri vengono esortati ad adottare una serie di misure e coordinarsi con l'UE per garantire un'equa ripartizione degli oneri. Pur essendo vincolanti, gli obiettivi fissati terranno conto delle rispettive capacità a livello nazionale. Resistenze al pacchetto clima erano state espresse dai paesi dell'est europeo,che chiedevano più risorse, e dalla Germania e Italia,preoccupate per il futuro di alcuni settori dell'economia. Per i settori industriali a rischio saranno concessi dei diritti di emissioni gratuiti, mentre a metà percorso, nel 2010, si valuteranno i risultati confrontandoli con gli impegni degli altri Paesi. Per quanto riguarda l'Italia, dovrà tagliare il 13% di emissioni di $C0_2$ nei settori non inclusi nel sistema di scambio di emissioni (ETS) e dovrà aumentare del 17% i consumi energetici da fonti rinnovabili entro il 2020, rispetto ai livelli del 2005. In fase di accordo,l' Italia non solo aveva accettato il programma dell'UE, ma aveva proposto limiti più restrittivi. Alla fine del 2008, il Governo Italiano, ha deciso di capire l'efficacia della Direttiva prima di aderire in maniera incondizionata; in quanto:

- in un momento di crisi economica come quello che stiamo vivendo, l'ambiente deve essere messo leggermente da parte;
- Il piano dell'UE risulterebbe economicamente troppo oneroso per il nostro Paese, a causa dei costi elevatissimi che lo stesso dovrebbe sostenere per adeguarsi alle condizioni previste;
- Un piano Europeo non ha senso se il resto del mondo (vedi India e Cina) continua ad inquinare

4.3.1.4 CONCLUSIONI

Il pacchetto per la lotta ai cambiamenti climatici dell'Unione, oltre agli obiettivi del 20-20-20 prevede anche un aumento della quota di utilizzo di biocarburanti nel settore dei trasporti del 10 per cento. In definitiva un'azione globale e' necessaria per poter combattere i cambiamenti climatici che ovviamente si riscontrano a tutte le parti dell' universo. A tal riguardo l'UE ha già svolto un ruolo chiave nell'elaborazione di due importanti trattati: la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici del 1992 e il relativo protocollo di Kyoto del 1997. Ciò però non basta; l'UE vuole infatti portare avanti il dibattito sui cambiamenti climatici e punta all'ambizioso obiettivo di ridurre collettivamente i gas ad effetto serra del 30% entro il 2020.

4.4 Il G8 di Siracusa

4.4.1 Introduzione

Il G8 di Siracusa e' stato uno snodo fondamentale sulla strada per la Conferenza di Copenaghen, per coinvolgere nella lotta ai cambiamenti climatici tutti i grandi soggetti mondiali che hanno un gran peso sul sistema della produzione e del consumo di energia. A Siracusa hanno partecipato tutti i grandi interlocutori in materia di emissioni e si sono confrontati con la nuova amministrazione Usa,

che ha annunciato un atteggiamento più attivo sul tema dell'ambiente, ma anche con paesi come Cina e India le cui scelte sono altrettanto importanti in vista di un nuovo accordo sul clima.

4.4.2 Paesi partecipanti

Il G8 per la Ambiente si e' svolto al Castello Maniace di Siracusa ad Aprile del 2009, dove, i ministri dell'Ambiente di Italia, Francia, Germania, Regno Unito, Stati Uniti, Giappone, Canada, Russia, assieme a Cina, India, Brasile, Messico, Indonesia, Sudafrica, Australia, Repubblica di Corea, Egitto, e con la partecipazione della Repubblica Ceca, Presidenza di turno dell'Unione Europea e di alcune Organizzazioni Internazionali, si sono riuniti nella bella città siciliana per discutere la lotta ai cambiamenti climatici e di conservazione della biodiversità

4.4.2.1 OBIETTIVI

I temi principali di questo vertice erano quelli di lanciare un messaggio politico sul rapporto tra salute e ambiente, oltre a facilitare il dialogo sul tema dei cambiamenti climatici in vista della Conferenza di Copenaghen che, nel dicembre di 2009, ha cercato di definire gli assetti globali del "post Kyoto". Gli argomenti trattati sono i seguenti:

- Futuro energetico del mondo e la diffusione graduale di fonti alternative poco inquinanti per ridurre le emissioni di gas serra. L'Italia recepisce la Direttiva 20-20-20;la partita si gioca però sugli impegni che saranno disposti ad assumere i grandi emittori di CO_2 USA, India e Cina rimasti fuori dagli impegni di riduzione del protocollo di Kyoto;
- Punto sul protocollo di Kyoto per vedere chi è rimasto indietro e chi ha proceduto bene;
- Tutela dei paesaggi e della biodiversità.

4.4.3 Conclusioni del G8 di Siracusa

Il G8 Ambiente che ha visto presenti i Ministri e le delegazioni di venti Paesi,si è concluso con l'adozione della Carta di Siracusa sulla biodiversità.La carta costituisce un punto di riferimento fondamentale dal quale riparte l'impegno per definire nuovi e comuni strategie per il post-2010.
I principi essenziali alla base della Carta sono:

- la biodiversità ed i servizi ecosistemici sono essenziali per la vita sulla Terra, per il benessere dell'umanità e per il conseguimento di tutti gli obiettivi del millennio;
- la biodiversità e gli ecosistemi hanno un grande valore economico e possono contribuire in maniera importante alla risoluzione dell'attuale crisi economica e finanziaria globale.

E' importante notare che gli ecosistemi presenti sul Pianeta, con le loro funzioni e i loro servizi, offrono la base stessa del benessere e dell'economia umana ma non sono affatto tenuti in conto dai Sistemi Nazionali di Contabilità delle nazioni del mondo. Si spera che la Carta serva concretamente ad avviare impegni precisi, puntuali e rendicontabili da parte dei Governi che l'hanno sottoscritta, per dare finalmente alla biodiversità la giusta centralità nelle politiche che verranno intraprese e dare un impulso di concretezza all'impegno preso da tutti i Governi per ridurre entro il 2010 la perdita della biodiversità

4.4.4 Opinione del WWF

In merito al G8 di Siracusa il WWF dichiara che l' incontro tra i ministri dell'ambiente e gli esponenti della società civile ha notevolmente alzato le loro aspettative. I ministri che sono

intervenuti hanno infatti dimostrato un profondo interesse verso le tematiche ambientali e allo stesso tempo un' ampia convergenza sull' importanza e sulla necessità di agire in maniera tempestiva e nel più breve tempo possibile per arginare la crisi climatica ed ecologica che sta investendo il pianeta,mettendo a rischio ecosistemi e la vita di intere popolazioni. Il WWF ritiene positivo che da Siracusa sia uscito un forte impegno al fine di orientare i pacchetti anti-crisi economica alla costruzione della green economy,al patto che i ministri dell'ambiente garantiscono la sostanzialità della parola "green". Il vertice di Siracusa non ha però rappresentato un passo avanti di rilievo nell'aiuto alle trattative per il raggiungimento di un accordo globale sul clima a Copenaghen. L'aver verificato i temi di discussione e' davvero poca cosa, servono impegni concreti da parte dei paesi industrializzati, il solo modo per stimolare l'assunzione di un ruolo da parte delle economie emergenti. Invece e' significativo il fatto che il vertice G8 Ambiente di Siracusa abbia ritenuto opportuno approvare una Carta sulla Biodiversità condivisa che prevede passi concreti e che sia stato riconosciuto il valore anche economico dei servizi che gli ecosistemi forniscono alle società umane.

4.5 La Conferenza di Copenaghen

L'inaugurazione della Conferenza di Copenaghen ha iniziato con un breve video dove alcuni bambini del futuro hanno mostrato uno scenario apocalittico, in cui la terra, deserta, era afflitta da bufere e tempeste. Una provocazione, ma se vogliamo anche una certezza, se non vengono presi provvedimenti adeguati. In questa conferenza hanno partecipato 193 Capi di Stato e in seguito si riportano gli impegni che sono chiesti ai principali paesi industrializzati,che rappresentano nello stesso tempo quelli che inquinano maggiormente il pianeta, e quelli offerti dai singoli Stati.

- **LA CINA**

Secondo Conferenza di Copenaghen i Paesi ricchi entro il 2020 dovrebbero tagliare le loro emissioni del 25-40% sotto i livelli del 1990. Di contro Pechino offre di ridurre l'intensità carbonica del 40-45 per cento entro il 2020 rispetto però ai livelli del 2005.
Hu Jintao ha parlato di riduzione dell' intensità carbonica anzichè delle emissioni complessive. L' intensità carbonica e' la quantità media di emissioni di CO_2 rilasciate per la produzione di un'unita' di prodotto interno lordo. Impegnarsi su questo parametro significa volere migliorare la propria efficienza energetica. Hu Jintao si propone di farlo nella misura del 40-45% entro il 2020. Ma dal momento che il PIL cinese crescerà decisamente nel prossimo decennio, si avrà anche un aumento complessivo delle emissioni, parametro sul quale la Cina, infatti, non prende impegni.

- **GLI STATI UNITI**

Il Presidente Barak Obama ha annunciato che gli USA assumono l'impegno di ridurre le emissioni per una percentuale pari al 17% entro il 2020, prendendo però come riferimento il 2005 (dunque rapportato al 1990 rappresenterebbe un taglio del 3%) e, sul lungo termine, un taglio di emissioni di oltre l'80% rispetto ai livelli attuali entro il 2050, garantendo anche gli aiuti economici per i Paesi in via di sviluppo. Così mentre il Senato Usa sta discutendo il taglio del 20% delle emissioni entro il 2020,dall'Agenzia americana dell'Ambiente (Epa), arriva il riconoscimento ufficiale della CO_2 come pericolo per la salute. Ma per Obama non sarà facile mantenere le sue promesse perchè si

deve confrontare anche con l'ala di estrema destra che sta osteggiando qualsiasi intervento in materia di cambiamenti climatici.

- **L' INDIA**

Ha annunciato la volontà di tagliare entro il 2020 le emissioni di carbonio per una percentuale pari al 20-25% rispetto 2005;

- **IL BRASILE**

I tagli di CO_2 garantiti dal Brasile vanno dal 36,1 e il 38,9 per cento entro il 2020;

- **L'UNIONE EUROPEA**

I fondi messi a disposizione dall'Europa per aiutare i paesi in via di sviluppo ammontano a 7,2 miliardi di euro,alla quale l'Italia,che appoggia in pieno la posizione dell'UE sulla base del pacchetto 20-20-20, cioè una riduzione del 20% delle emissioni per il 2020 rispetto al 1990,contribuirà con circa 600 milioni. L'intesa finale definisce i contributi da parte dei Paesi industrializzati ai Paesi in via di sviluppo per incrementare le tecnologie verdi. Per questi ultimi sono previsti aiuti per 30 miliardi di dollari entro il 2012: la prima bozza parlava di 10 miliardi. Gli Stati Uniti hanno promesso di contribuire con 3,6 miliardi. I tagli alle emissioni, dunque, dovranno essere conseguenti a tale obiettivo, un obiettivo però che non mette a riparo le piccole isole che rischiano di essere sommerse dall'innalzamento del livello dei mari causato dallo scioglimento dei ghiacciai.

4.6 1° negoziato di Bonn

La conferenza di Copenaghen si è chiusa con un quasi flop e per giunta le pur magre conclusioni sono state accantonate per via della crisi economica. Ma nel dicembre prossimo ci sarà una nuova conferenza, quella di Cancun, in Messico, in cui bisognerà prendere nuovi impegni e fare il punto della situazione e, se ci si arriva come a quella di Copenaghen, c'è il rischio di un nuovo fallimento.
Per non arrivare impreparati, 182 Governi facenti parte delle Nazioni Unite si sono incontrati, nel giugno del 2010, a Bonn, in Germania, per una conferenza "di medio termine". Qui il punto fondamentale discusso dai 4.500 delegati è stato attuare quelle poche decisioni prese a Copenaghen, e cioè principalmente taglio delle emissioni ed aiuti economici a quei Paesi in difficoltà che si devono adeguare alle nuove norme. Una piena ed efficace architettura per un'azione collettiva sul clima è la visione che Yvo De Boer, Commissario europeo sull'ambiente e segretario dell'Unfccc (United nations framework convention on climate change), ha proposto di attuare. Si è lavorato su un testo condiviso di negoziazione da presentare al Cop16, si è fatto il punto sugli obiettivi del protocollo di Kyoto, in scadenza nel 2012, facendo pressione su quei Governi ancora lontani dal raggiungere l'obiettivo, ed infine si è cercato di trovare un accordo sulle modalità di stanziamento di 30 miliardi di dollari, sempre entro il 2012, per la fase denominata "Fast Start", cioè l'avvio degli aiuti per i Paesi meno industrializzati. Alla riunione ha partecipato anche l'Iucn, l'Unione Mondiale per la Conservazione della Natura, con la proposta di trovare un accordo che vada oltre Kyoto, cioè un obiettivo precedente a quello del 2020 richiesto dall'Onu, per non perdere di vista l'obiettivo finale della riduzione delle emissioni e della deforestazione, per proteggere la biodiversità,

festeggiata proprio quest’anno in tutto il mondo. L’Iucn ha illustrato la situazione del riscaldamento globale ancora poco nota al mondo politico, e lo stato dei lavori per limitarlo, considerati non sufficienti a mantenere la temperatura del pianeta al di sotto della soglia considerata pericolosa. Il prossimo appuntamento è stato sempre a Bonn ad agosto, e poi tra novembre e dicembre tutto si sposterà a Cancun.

4.7 2° negoziato di Bonn

Nell’agosto del 2010 si sono riaperti a Bonn i negoziati sui cambiamenti climatici per riuscire a stilare un testo in grado di mettere d'accordo sugli obiettivi di riduzione dei gas serra in vista della Conferenza Onu sul clima di Cancun (Cop16) prevista dal 29 al 10 dicembre prossimi nella città messicana. L'incontro tecnico prima della pausa estiva ha visto all'opera due gruppi di lavoro che hanno discusso rispettivamente degli impegni per i paesi sviluppati che hanno aderito al Protocollo di Kyoto e delle “azioni di cooperazione a lungo termine” che dovranno intraprendere tutte le nazioni, Cina e Stati Uniti compresi che, ricordiamo, non hanno aderito al trattato che scadrà nel 2012. Nonostante la serie di proposte messe a punto dal nuovo segretario esecutivo della Unfccc (Convenzione quadro dell'Onu sui cambiamenti climatici) Christiana Figueres, - succeduta a Yvo de Boer, dimessosi agli inizi di luglio – per alleggerire gli iter e velocizzare le procedure di ratifica dei prossimi accordi, infatti, sono rimaste arroccate le posizioni registratisi sul fronte internazionale dai vari Stati, a partire da quella dei Paesi in Via di Sviluppo, per i quali l'onere dei tagli delle emissioni graverebbe troppo sulle nazioni più povere e non abbastanza sui paesi industrializzati che sarebbero poi i maggiori produttori di gas serra. Tuttavia i dati pubblicati dall'Agenzia di valutazione ambientale olandese dimostrerebbero che il trend si sia capovolto. La stima della PBL, infatti, evidenzia come nel 2009 le emissioni prodotte da fonti fossili siano per la prima volta dal 1992 rimaste costanti grazie alla riduzione del 7% della CO2 nei paesi industrializzati, compensata però proprio dall'aumento di quelle dei paesi in via di sviluppo come India e Cina (che hanno registrato rispettivamente un + 6% e un + 9%). A tale dicotomia, protagonista anche della Conferenza di Copenaghen del dicembre del 2009, si sono aggiunti poi i contrasti europei tra gli stati membri sull'innalzamento dell'obiettivo di riduzione dall'attuale 20 al 30% entro il 2020 e l'affossamento da parte del Congresso della legge sul clima tanto voluta da Obama. Su una cosa però sono tutti concordi: far scadere il Protocollo di kyoto senza un nuovo trattato sui cambiamenti climatici, non favorirà nessuno, il vuoto normativo che si verrebbe a creare, infatti, non solo renderebbe vani gli sforzi di anni di lavoro della convenzione Onu, ma farebbe andare in crisi il cosiddetto «mercato del carbonio», alla base dello sviluppo sostenibile e diventato motore anche nelle economie in via di industrializzazione.

4.8 Cancun 2010

Dal 29 Novembre al 10 Dicembre 2010 si è tenuta a Cancun la 16° Conferenza delle Parti (COP) sui cambiamenti climatici organizzata dall’ONU e che coinvolge tutti i Paesi del Globo. L’incontro ha riguardato quattro temi di straordinaria valenza:

- adattamenti ai cambiamenti climatici volti a sviluppare per la prima volta una strategia denominata Global Framework for Climate Services che consiste nella creazione di un servizio di coordinamento delle informazioni e degli strumenti dedicati ai cambiamenti

climatici specifico per ogni tipologia di economia e settore sociale;

- finanziamenti a breve e lungo termine;
- creazione di un nuovo sistema chiamato "Green Climate Fund" dove confluiranno gli aiuti dei Paese più ricchi verso quelli più poveri per fronteggiare le emergenze determinate dai cambiamenti climatici e adottare misure per fronteggiare il cosiddetto "global warming";
- riduzione delle emissioni derivanti dai processi di deforestazione.

La conferenza si è conclusa con l'approvazione ufficiale di due diversi documenti: uno riguardante il futuro del Protocollo di Kyoto, l'altro sullo sviluppo della politica internazionale nel quadro della convenzione dell'ONU sul clima. Quest'ultimo documento abbozza la procedura per lottare contro i problemi legati ai cambiamenti climatici; il testo ribadisce come questi sono una delle principali sfide dell'umanità e che pertanto è di fondamentale importanza intensificare gli sforzi volti ad una sempre maggiore riduzione delle emissioni di gas serra al fine di evitare che il riscaldamento globale superi i 2°. E' possibile che tale valore massimo di temperatura sia abbassato a 1,5°, al fine di accogliere le preoccupazioni e gli accorati appelli della piccole isole che temono di sparire per l'innalzamento degli Oceani. Tutto ciò comporta un'assunzione di responsabilità da parte dei Paesi, seppur diversificata in funzione del livello di sviluppo.

Il primo documento contiene l'impegno a lavorare per raggiungere un nuovo accordo che estenda il protocollo di Kyoto oltre il 2012, anche se il Giappone si oppone con forza ad una mera estensione del protocollo.

CAPITOLO 5 - Lo sviluppo sostenibile

Sempre più spesso leggiamo articoli di giornale o commenti di personaggi della politica sull'Italia che non vuole crescere, in cui i cittadini sono visti come un ostacolo allo sviluppo economico del Paese. La storia economica mondiale ci ha insegnato diversi paradigmi dello sviluppo. In particolare distinguiamo:

- lo sviluppo tradizionale ;
- lo sviluppo sostenibile.

Lo *sviluppo tradizionale* si caratterizza per il rapporto di correlazione inversa con l'ambiente naturale. Ha accompagnato, razionalmente, la storia dell'uomo fin dagli albori, quando a popolare il pianeta erano poche migliaia di uomini circondati da boschi e da pericoli di ogni tipo. Fin dalle prime tribù l'uomo ha dovuto modificare l'ambiente circostante per creare uno spazio adeguato in cui vivere. Questo paradigma è durato migliaia di anni mostrando i primi segni di crisi soltanto nella seconda metà del novecento con l'emergere dei gravi fenomeni di inquinamento globale e di scarsità delle risorse (es. petrolio). Negli anni '80 ha trovato una rapida diffusione nel mondo accademico la *teoria dell'entropia* in base alla quale in un sistema chiuso come la Terra l'energia utilizzata non potrà mai essere recuperata completamente. Questa teoria reintroduce il concetto scientifico di limite in ottica globale.

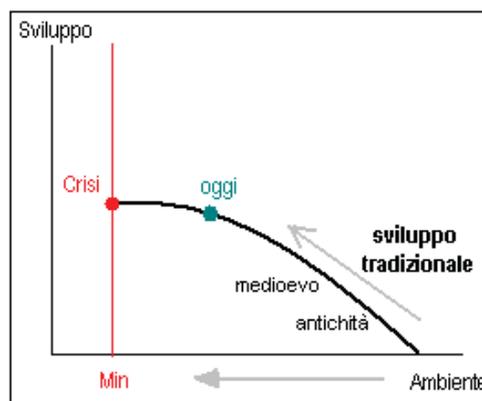



Fig. 5.1: Evoluzione dello sviluppo

Come si può vedere dal grafico lo sviluppo tradizionale ha man mano ridotto il capitale naturale trasformandolo in sviluppo economico. Questo processo può essere attenuato dalle innovazioni tecnologiche che spostano verso destra la curva senza però risolvere il problema alla base della scarsità. La risposta razionale può arrivare soltanto dall'introduzione di un nuovo paradigma di sviluppo conosciuto come *sviluppo sostenibile*. Non si tratta di una negazione della crescita, come molti credono, bensì della crescita economica rispettosa dei limiti ambientali.

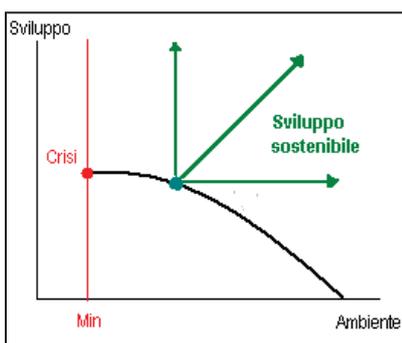



Fig. 5.2: Sviluppo sostenibile

La prima definizione di sviluppo sostenibile in ordine temporale è stata quella contenuta nel *rapporto Brundtland* (dal nome della presidente della Commissione, la norvegese Gro Harlem Brundtland) del 1987 e poi ripresa dalla *Conferenza mondiale sull'ambiente e lo sviluppo* dell'ONU (*World Commission on Environment and Development*, WCED):
«*lo Sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni*».

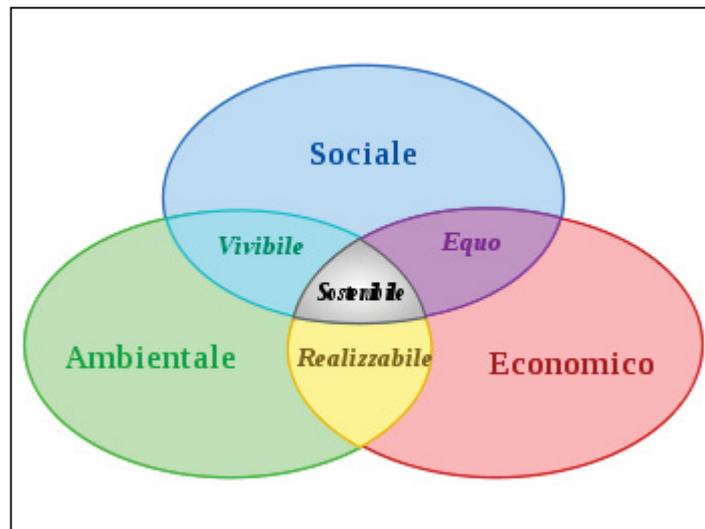



Fig. 5.3: Schema dello sviluppo sostenibile

Sebbene questa dichiarazione sintetizzi, in maniera molto semplificata, alcuni aspetti importanti del rapporto tra sviluppo economico, equità sociale, rispetto dell'ambiente, non può essere operabile. E' la cosiddetta regola dell' equilibrio delle *tre "E": ecologia, equità, economia.* Tale definizione parte da una visione antropocentrica, infatti al centro della questione non è tanto l'ecosistema, e quindi la sopravvivenza e il benessere di tutte le specie viventi, ma piuttosto le generazioni umane. Ecco perché la sola definizione che può essere operazionabile è quella che dice cosi: "*un processo socio-ecologico caratterizzato per un comportamento alla ricerca di ideali*".

5.1 Evoluzioni del concetto

Una successiva definizione di sviluppo sostenibile, in cui è inclusa invece una visione più globale, è stata fornita, nel 1991, dalla World Conservation Union, UN Environment Programme and World Wide Fund for Nature, che lo identifica come "*...un miglioramento della qualità della vita, senza eccedere la capacità di carico degli ecosistemi di supporto, dai quali essa dipende*".
Nello stesso anno Hermann Daly ricondusse lo sviluppo sostenibile a tre condizioni generali concernenti l'uso delle risorse naturali da parte dell'uomo:

- il tasso di utilizzazione delle risorse rinnovabili non deve essere superiore al loro tasso di rigenerazione;
- l'immissione di sostanze inquinanti e di scorie nell'ambiente non deve superare la capacità di carico dell'ambiente stesso;
- lo stock di risorse non rinnovabili deve restare costante nel tempo.

In tale definizione, viene introdotto anche un concetto di "equilibrio" auspicabile tra uomo ed ecosistema. Nel 1994, l'ICLEI (International Council for Local Environmental Initiatives) ha fornito un'ulteriore definizione di sviluppo sostenibile: "*Sviluppo che offre servizi ambientali, sociali ed economici di base a tutti i membri di una comunità, senza minacciare l'operabilità dei sistemi naturali, edificato e sociale da cui dipende la fornitura di tali servizi*".
Ciò significa che le tre dimensioni economiche, sociali ed ambientali sono strettamente correlate, ed ogni intervento di programmazione deve tenere conto delle reciproche interrelazioni.
L'ICLEI, infatti, definisce lo sviluppo sostenibile come lo sviluppo che fornisce elementi ecologici, sociali ed opportunità economiche a tutti gli abitanti di una comunità, senza creare una minaccia alla vitalità del sistema naturale, urbano e sociale che da queste opportunità dipendono. Nel 2001, l'UNESCO ha ampliato il concetto di sviluppo sostenibile indicando che: "*la diversità culturale è necessaria per l'umanità quanto la biodiversità per la natura (...) la diversità culturale è una delle radici dello sviluppo inteso non solo come crescita economica, ma anche come un mezzo per condurre una esistenza più soddisfacente sul piano intellettuale, emozionale, morale e spirituale". (Art 1 e 3, Dichiarazione Universale sulla Diversità Culturale, UNESCO, 2001).* In questa visione, la diversità culturale diventa il quarto pilastro dello sviluppo sostenibile, accanto al tradizionale equilibrio delle tre E. Il rapporto Brundtland ha ispirato alcune importanti conferenze delle Nazioni Unite, documenti di programmazione economica e legislazioni nazionali ed internazionali. Il dibattito sulla questione ambientale, nato tra gli anni '60 e '70 del secolo scorso con la formazione delle prime Associazioni ambientaliste, ebbe come nodo centrale il rapporto tra economia e ambiente, nella sempre più evidente necessità di preservare la qualità del patrimonio naturale e nella consapevolezza che, essendo le risorse del pianeta tendenzialmente esauribili, dovessero essere rivisti ed equilibrati i modelli di sviluppo.

5.2 Da Stoccolma a Rio

"*La Terra come capitale da preservare, nella considerazione del rapporto critico tra crescita ed ecosistema e del processo irreversibile costituito dallo sfruttamento delle risorse non rinnovabili*". Questo il tema di base affrontato nel 1972 dalla *Conferenza di Stoccolma*, la prima che, su scala mondiale, toccasse i temi ambientali e adottasse una *Dichiarazione* all'interno della quale la tutela dell'ambiente diveniva parte integrante dello sviluppo, uno sviluppo compatibile con le esigenze di salvaguardia delle risorse.
Dalla consapevolezza di voler operare verso azioni orientate alla ecogestione del territorio e delle attività antropiche prende l'avvio il concetto di *"Sostenibilità" e "Sviluppo Sostenibile"*, contenuto nel Rapporto Our Common Future (1987) della World Commission on Environment and Development (Commissione Bruntland), che gli diede la sua accezione più nota, ovvero lo sviluppo che:"*garantisce i bisogni delle generazioni attuali senza compromettere la possibilità che le generazioni future riescano a soddisfare i propri*".
Il concetto informatore di questo modello di sviluppo, compatibile con le esigenze di tutela e salvaguardia delle risorse e del capitale dell'umanità, ripropone una visione del mondo nella quale il fine ultimo è rappresentato dal raggiungimento di una migliore qualità della vita, dalla diffusione di una prosperità crescente ed equa, al conseguimento di un livello ambientale non dannoso per l'uomo e per le altre specie viventi e nel quale sia possibile una più equa accessibilità alle risorse. Nascono proprio in quegli anni i presupposti dell'economia ecologica e dell'economia ambientale, come nuovo campo di studi ove rileggere e valutare le interrelazioni tra ambiente ed economia.

L’economia ambientale avvia, più specificamente, l’approfondimento di alcune tematiche di particolare rilievo nella definizione e nella comprensione delle relazioni tra salvaguardia ambientale, perseguimento dell’efficienza economica e fallimenti di mercato, come nel caso delle esternalità ambientali e del livello ottimo di inquinamento. Affronta, inoltre, il problema della valutazione economica delle risorse ambientali, degli strumenti di politica economica e fiscale per il controllo delle esternalità e dei problemi ambientali (imposte ambientali). Altro caposaldo dello sviluppo sostenibile è rappresentato dalla *Conferenza delle Nazioni Unite tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992* che, nella sua Dichiarazione, *Principi delle foreste e l’Agenda 21*, sancisce i 27 principi su ambiente e sviluppo, ancora oggi vivi ed attuali. Lo sviluppo sostenibile assume quindi le caratteristiche di concetto integrato, con la necessità di coniugare le tre dimensioni fondamentali e inscindibili di Ambiente, Economia e Società. Il progresso tecnologico sostenibile si pone allora quale strumento per raggiungere l’obiettivo di un uso oculato delle risorse naturali diminuendo il consumo di quelle non rinnovabili, della limitazione dei rifiuti prodotti e della sostituzione del capitale naturale (territorio, risorse materiali, specie viventi) con capitale costruito (risorse naturali trasformate).
La Conferenza di Rio, contestualmente, lanciava:

- la *Convenzione sulla Diversità biologica;*
- la *Convenzione sui Cambiamenti climatici*;
- la *Desertificazione*, adottata poi nel 1994.

L’ *Agenda 21* è il programma di azioni, indicato dalla Conferenza di Rio, per invertire l’impatto negativo delle attività antropiche sull’ambiente. Essa definisce le attività da intraprendere, i soggetti da coinvolgere ed i mezzi da utilizzare in relazione alle tre dimensioni dello sviluppo sostenibile (Ambiente, Economia, Società).

5.3 Da Rio a Johannesburg

Altri eventi salienti riguardanti lo sviluppo sostenibile si sono verificati negli anni che seguirono la Conferenza di Rio, e tra questi si ricordano:

- nel 1997, il *Protocollo di Kyoto* sui cambiamenti climatici;
- nel 1998 la *Convenzione di Aarhus* sui diritti all’informazione e alla partecipazione ai processi decisionali;
- nel 2000 la *Dichiarazione del Millennio delle Nazioni Unite* sui valori sui quali fondare i rapporti internazionali del terzo millennio;
- nel 2000, a Montreal, il *Protocollo sulla biosicurezza;*
- nel 2001, a Stoccolma, la *Convenzione sulle sostanze inquinanti non degradabili*;
- nel 2002, a Monterrey, la *Conferenza sui finanziamenti per lo sviluppo*.

Dal 1992 al 2002, i dieci anni che separano il Vertice di Rio da quello di Johannesburg, il Summit destinato a rafforzare l’impegno globale verso lo sviluppo sostenibile, si è diventati sempre più consapevoli di come il cammino verso un mondo più sostenibile sia molto più lento e difficoltoso di quanto ci si aspettava e che le prospettive stesse di Rio, a parte qualche progresso specifico a livello nazionale o regionale, non siano state mantenute.
Il *Vertice di Johannesburg*, conclusosi con la presentazione del *Piano di attuazione* e la definizione di cinque nuovi *targets*, si richiama agli eventi di Stoccolma e di Rio ed attribuisce al compimento del processo di Agenda 21 il ruolo fondamentale per la realizzazione dello sviluppo sostenibile.

5.4 Il punto di vista europeo

Il *Trattato di Maastricht* annovera lo sviluppo sostenibile tra gli obiettivi dell'Unione Europea ed una serie di eventi comunitari ne sanciscono ruolo e caratteri.

Nelle conclusioni del *Consiglio Europeo di Cardiff* del 1998 veniva presentata la strategia per integrare la protezione dell'ambiente nelle politiche comunitarie: nel *Documento Introduttorio del Consiglio Europeo di Vienna*, sempre nello stesso anno, e nelle conclusioni del *Consiglio Europeo di Helsinki* nel 1999, veniva riconosciuta la necessità di attuazione di questa strategia. Sulla base dell'esperienza maturata con il V° Piano Europeo di Azione Ambientale "Per uno sviluppo durevole e sostenibile", parallelo alla Conferenza di Rio ed al varo di Agenda 21, vennero definite le linee direttive sulla tutela ambientale e sulla sostenibilità dello sviluppo. Nel 2000 i *Vertici del Consiglio Europeo*, tenutisi a Lisbona e Nizza, gettavano le basi per una strategia socioeconomica globale e, con il *Consiglio Europeo di Stoccolma* nel 2001, si ribadiva l' assoluta parità delle tre dimensioni dello sviluppo sostenibile: Ambiente, Economia, Società. E' comunque con il *Consiglio Europeo di Goteborg* che, nel 2001, prende avvio la strategia europea per lo sviluppo sostenibile, secondo la quale gli effetti economici, sociali ed ambientali di tutte le politiche debbano costituire parte integrante del processo decisionale. Questi principi sono confermati e ribaditi nel *Vertice del Consiglio Europeo di Barcellona* nel 2002, ove viene affermata l'importanza del VI Piano d'Azione Ambientale europeo in materia di ambiente, in quanto strumento essenziale per lo sviluppo sostenibile nella prospettiva di Johannesburg.

Il VI Piano d'Azione Ambientale europeo 2002/2010 definisce la politica ambientale comunitaria fino al 2010, legandola a 4 campi di azioni prioritarie (cambiamenti climatici; natura e biodiversità; ambiente, salute, qualità della vita; uso sostenibile delle risorse) e sostenendo la promozione di Agenda 21 locale, l'intervento sul sistema dei trasporti, l'adozione degli indicatori ambientali urbani. Uno degli elementi emergenti è che la dimensione urbana assume, dopo Johannesburg, un rilievo ancora maggiore ed è parte integrante della strategia di sostenibilità dell'Unione e degli obiettivi fissati nei vertici di Lisbona, Goteborg e Barcellona sopracitati. Laddove Johannesburg sancisce la necessità di passare dall'*Agenda all'Azione*, ovvero dalla individuazione di problemi, metodi e strategie alla effettiva realizzazione di interventi sul campo non solo in termini ambientali in senso stretto ma in termini più complessi di concertazione, partecipazione, condivisione, appare evidente come la sperimentazione di Agenda 21 è reale occasione per lanciare programmi di rinnovo e riqualificazione urbana e territoriale.

5.5 L'esperienza italiana

Il percorso di Agenda 21 è stato attivato già da moltissime città europee e italiane, operando in molti casi azioni di coinvolgimento delle loro comunità, progettazioni e realizzazioni concrete.

In particolare, nel nostro Paese si registra, da parte degli Enti locali, un forte interesse ed una notevole diffusione delle pratiche di Agenda 21, che si mostra come lo strumento principe attraverso cui muovere verso modelli di sviluppo più sostenibili, conducendo l'esperienza italiana ad un livello paritetico rispetto a quello di altre nazioni europee.

In tema di sostenibilità, l'impegno italiano si è poi sostanziato, dal 2000 ad oggi, in una serie di iniziative e contributi a cura del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, del sistema APAT, ARPA, APPA, del Governo centrale e locale, del Coordinamento Agenda 21, che vedono la partecipazione di diversi soggetti coinvolti. Per lo sviluppo sostenibile si annoverano la Strategia di Azione Ambientale, la Conferenza Stato -regioni, il Premio Città dei Bambini e delle Bambine; per

l'Agenda 21 locale il Cofinanziamento di programmi di sviluppo sostenibile, il Manuale ANPA d'Aggiornamento sulle tematiche di AG21.
La *Strategia di Azione Ambientale per lo Sviluppo Sostenibile in Italia*, elaborata dal MATT (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio) ed approvata con Delibera CIPE 2/8/02, n°57, si ispira al sopracitato VI° programma d'azione "Ambiente 2010: il nostro futuro la nostra scelta" (2001) ed a quegli obiettivi di piena occupazione, coesione sociale, tutela ambientale sanciti dai Consigli Europei di Lisbona e Goteborg. L'azione ambientale si articola anche qui in quattro grandi aree tematiche:

- cambiamenti climatici e protezione della fascia dell'ozono;
- protezione e valorizzazione sostenibile della Natura e della Biodiversità;
- qualità dell'Ambiente e qualità della vita negli ambienti urbani e nel territorio;
- gestione sostenibile delle risorse naturali.

A ciascuna area tematica è associata una tabella di indicatori scelti in funzione delle esigenze della normativa vigente e comprendenti i sette indicatori del Consiglio di Barcellona, gli ICE (Indicatori Comuni Europei) e la lista degli undici indicatori ambientali europei del 2000.
Nella Strategia di azione ambientale per uno sviluppo sostenibile il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio individua come strumento per rendere più sistematica, efficiente ed efficace l'applicazione della VIA (Valutazione Impatto Ambientale), l'istituzione degli Osservatori Ambientali, finalizzati alla verifica dell'ottemperanza alle pronunce di compatibilità ambientale, nonché al monitoraggio dei problemi ambientali in fase di realizzazione delle opere di particolare rilevanza.
Il MATT riconosce altresì che la VIA sulle singole opere non è sufficiente a garantire la sostenibilità complessiva ma questa deve essere integrata a monte con piani e programmi, mediante la Valutazione Ambientale Strategica (VAS), così come prevista dalla Direttiva 2001/42/CE, che abbiano già assunto i criteri necessari alla sostenibilità ambientale. Anche il tema del *Danno ambientale* è da annoverarsi tra gli strumenti utilizzati per promuovere lo sviluppo sostenibile. In tal senso si segnala lo strumento della Responsabilità civile in materia di danno ambientale, introdotto a livello nazionale (Art. 18 L. 349/86) e comunitario (art. 174 del Trattato istitutivo della CE Roma, 1957; *Libro Bianco sulla responsabilità per danni all'ambiente* - Bruxelles, 2000; Proposta di Direttiva in materia di prevenzione e riparazione del danno ambientale - Bruxelles, 2002) che stabilisce il principio del "chi inquina paga" ed ha, tra l'altro, l'obiettivo di prevenire i danni ambientali rendendo consapevoli gli operatori che effettuano pratiche e comportamenti che costituiscono un rischio per l'ambiente, riguardo agli obblighi di risarcimento del danno ambientale eventualmente causato.

5.6 Gli strumenti dello Sviluppo sostenibile

Il concetto di Sviluppo Sostenibile integra aspetti ambientali, economici, sociali, istituzionali secondo un approccio interdisciplinare al quale hanno fatto riferimento, dal 1992 (anno della Conferenza di Rio), gli operatori locali e nazionali, cittadini e imprese per affrontare le principali problematiche ambientali in maniera integrata e trasversale. L' Agenda 21 locale rappresenta senza dubbio lo strumento che, a livello territoriale, meglio mette in atto le raccomandazioni di ordine globale generate dal Vertice di Rio prima e dalla *Conferenza di Johannesburg* con il connesso *Piano di attuazione*. L'Agenda 21 è uno strumento volontario insieme al quale esiste una serie di strumenti legalmente "vincolanti", ovvero delineati da precise direttive comunitarie e nazionali, la cui

applicazione è di grande rilevanza in sede di pianificazione e progettazione, in particolare per le grandi opere. Si tratta in particolare della

- *Valutazione Ambientale Strategica* (VAS), oggetto di importante applicazione nel nostro Paese;
- *Valutazione di Impatto Ambientale* (VIA), strumento ratificato da apposita Direttiva comunitaria e da anni adottato nel nostro Paese.

La Commissione Europea ha poi da tempo individuato il ruolo fondamentale rivestito dalle imprese nell'attuazione degli obiettivi di sostenibilità, sviluppando strumenti volontari che mirano a diminuire l'impatto dei processi produttivi e ad incentivare scelte di mercato a favore dei prodotti ecologicamente compatibili. Si tratta di strumenti noti come sistemi di gestione ambientale delle imprese, tra i quali fondamentali sono:

- EMAS;
- ISO 14001.

Altri strumenti che trovano collocazione nel quadro strategico dell'Integrated Product Policy (IPP) e che si concentrano dunque sul miglioramento della performance ambientale di prodotti e servizi sono:

- l'Ecolabel (marchio di qualità ecologica dei prodotti istituito a livello comunitario);
- la Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD);
- il Green Public Procurement (acquisto di prodotti ambientalmente preferibili).

5.6.1 Differenze tra V.A.S. e V.I.A.

Le valutazioni strategiche (V.A.S.) dei piani e programmi riguardano problemi su scala geografica molto ampia e si concentrano sugli impatti strategici mentre le valutazioni di impatto ambientale (V.I.A.) tendono a concentrarsi maggiormente su uno specifico progetto in una localizzazione specifica. Nella procedura dei Fondi Strutturali, la VAS è applicata ai piani e ai programmi mentre la VIA assume rilevanza durante la fase di attuazione dei progetti. La VAS sarà intesa a valutare le implicazioni più ampie, a livello di ambiente e di sviluppo sostenibile, di un gran numero di iniziative di vario tipo, con lo scopo di prevenire i danni che una iniziativa potrebbe procurare piuttosto che reagire dopo. Questo dovrebbe consentire una tutela dell'ambiente più completa e precisa perché si cerca di promuovere uno sviluppo sostenibile prevenendo i danni. La VIA di un progetto sarà intesa ad individuare e valutare gli impatti specifici di quel progetto "sul campo" in termini quantitativi. Attribuisce maggiore importanza a soluzioni pratiche di mitigazione e di compensazione. La VAS riguarda problemi su scala geografica ampia e si concentra sugli impatti strategici, cioè di lungo periodo ed a scala territoriale, mentre la VIA tende a concentrarsi su uno specifico progetto in una localizzazione ben definita. La VAS è applicata ai piani ed ai programmi e richiede che le questioni ambientali e legate allo sviluppo sostenibile siano attentamente vagliate fin dal primo stadio della programmazione. Ciò per garantire che i risultati e le informazioni ottenuti vadano a vantaggio dei livelli di pianificazione successivi, riducendo così i continui conflitti che spesso si sono avuti tra interessi economici e la volontà di tutelare l'ambiente. La VIA va applicata alla tipologia di progetti individuati dalle direttive comunitarie così come recepite dalla normativa statale e regionale. I suoi contenuti tecnici, scientifici ed amministrativi, dovrebbero garantirne il ruolo di strumento di informazione per i cittadini, rendendoli parte attiva delle scelte attuate; una caratteristica importante delle valutazioni di impatto è, infatti, che esse hanno lo scopo di aumentare

la partecipazione dei cittadini alle scelte, contribuendo così a realizzare una forma di controllo sociale sulle trasformazioni del territorio. Nella tabella che segue sono evidenziate le differenze sostanziali tra valutazione d'impatto ambientale (VIA) e la valutazione ambientale strategica (VAS)

Tabella 5.1: Valutazione d'impatto ambientale (VIA) e la valutazione ambientale strategica (VAS)

	VIA	*VAS*
CAMPO DI APPLICAZIONE	Progetti	Programmi o Piani (pubblici)
SCALA DI VALUTAZIONE	Locale	Regionale
TIPO DI VALUTAZIONE	Obbligatoria	Volontaria
NORMATIVA DI RIFERIMENTO PER L'INDIVIDUAZIONE DEGLI AMBITI DI APPLICAZIONE	Direttiva CEE 85/337 (Allegati I e II) Direttiva 97/11/CE (Tabella I) DPCM 10 agosto 1988, n. 377 (art. 1) DPCM 27 dicembre 1988 (Allegato III) Altre Leggi e Circolari Ministeriali specifiche per tipologia di impianto/intervento. L.P. 29 agosto 1988, n. 28 (Tabella) DPGP 22 novembre 1989, n. 13-11/leg. (Allegato) L.P. 5 settembre 1991, n. 22 (art. 31)DPGP 10 maggio 1995, n. 7-21/leg. (Tabella)	Procedura non obbligatoria
FINALITA'	Verifica delle interferenze dei progetti con i fattori ambientali: acqua, aria, suolo, flora, fauna, uomo, fattori climatici, paesaggio, beni culturali, archeologici e loro interrelazione	Programmazione e verifica della rispondenza dei Piani di sviluppo e dei programmi operativi con gli obiettivi dello sviluppo sostenibile.
PROCEDURA	Tecnica-scientifica-amministrativa volta alla individuazione, descrizione e giustificazione degli effetti che un determinato progetto, azione od opera avrà sull'ambiente (inteso come l'insieme delle attività umane e delle risorse naturali) siano essi diretti o indiretti, a breve o a lungo termine, permanenti o temporanei, singoli o cumulativi.	E' un processo sistematico teso a valutare le conseguenze in campo ambientale di una politica di sviluppo. La Valutazione Strategica può avvenire contestualmente alla stesura del Piano oppure successivamente alla stessa.
DATI	Prevalentemente quantitativi, certi.	Di vario genere, descrittivi e qualitativi
RISULTATI	Dettagliati e quantitativi	Generali e qualitativi
LA PARTECIPAZIONE PUBBLICA	Lo Studio di Impatto Ambientale (SIA) è depositato presso l'Ente preposta ed è a disposizione di chiunque per eventuali osservazioni. La pubblicizzazione del progetto viene fatto con comunicati stampa e l'indizione di assemblee pubbliche. Il confronto con il pubblico segue la SIA e precede la VIA.	Non esistono procedure standardizzate a proposito. Occorre sottolineare però che la partecipazione pubblica è uno degli elementi fondamentali del concetto stesso di sostenibilità: non esiste futuro sostenibile senza la partecipazione dei cittadini; la VAS dovrà/potrà quindi verificare se vi sia stata partecipazione nella formulazione del "piano".
PRONUNCIA DI COMPATIBILITA'	Giunta Provinciale, acquisito il parere motivato del Comitato Provinciale per l'Ambiente ed acquisiti tutti i provvedimenti	Più che di pronuncia formale, si tratta di una procedura di dialogo che si sostanzia in un continuo scambio di

	autorizzativi previsti dalla legge (art. 6 L.P. 29 agosto 1988, n. 28)	informazioni al fine di valutare ciascuno "step" della fase di programmazione.
VALENZA DELLE VALUTAZIONI	Strumento di controllo, esterno alla progettazione	Strumento di controllo esterno al processo. Strumento di pianificazione interno al processo. Le due valenze costituiscono un circolo Programmazione-Vas-Programmazione

5.6.2 L'EMAS

Poiché gli aspetti ambientali diventano sempre più complessi e numerosi è necessario gestirli con un approccio sistematico e pianificato.

Il Sistema di ecogestione ed audit (*Eco-Management and Audit Scheme = EMAS*) è un sistema ad adesione volontaria per le imprese e le organizzazioni che desiderano impegnarsi a valutare e migliorare la propria efficienza ambientale.

EMAS è stato lanciato nel 1993 ed è stato sottoposto a revisione nel 2001.

La revisione ha introdotto in particolare:

- la possibilità che aderiscano allo schema le organizzazioni di tutti i settori;
- la valutazione non solo degli aspetti ambientali diretti ma anche di quelli indiretti;
- l'adozione di un nuovo logo EMAS;
- l'integrazione della norma EN/ISO 14001 come riferimento per il sistema di gestione ambientale di EMAS;
- la partecipazione dei dipendenti.

L'EMAS è principalmente destinato a migliorare l'ambiente e a fornire alle organizzazioni, alle autorità di controllo ed ai cittadini (al pubblico in senso lato) uno strumento di valutazione e gestione dell'impatto ambientale di una organizzazione.

L'EMAS ha come prerequisito di accesso il rispetto della normativa ambientale applicabile.

Il soggetto che intende ottenere la registrazione, oggettivato tale prerequisito, identifica gli obiettivi di miglioramento delle prestazioni ambientali che volontariamente intende conseguire, definisce il relativo programma di attuazione e descrive il tutto nella dichiarazione ambientale. Tale documento, completati i processi di convalida e di registrazione, che attestano tra l'altro l'attendibilità dei dati e delle informazioni contenute, viene reso pubblico riportando il logo EMAS che contraddistingue in Europa gli aderenti allo schema. Il logo è quindi garanzia di una pianificata e sistematica attenzione alle problematiche ambientali e di un oggettivo, attendibile impegno verso la prevenzione ed il miglioramento continuo. Al giorno d'oggi le responsabilità di una impresa vanno oltre le semplici considerazioni finanziarie; bisogna infatti considerare anche l'impatto ambientale e sociale delle attività svolte. Prestazioni ambientali eccellenti, che una volta venivano ritenute un costo esterno, stanno diventando parte integrante delle valutazioni economiche di una impresa.

5.6.2.1 FASI DI ATTUAZIONE DI EMAS

Per ottenere la registrazione EMAS un'organizzazione deve:

- *effettuare una analisi ambientale*: esaminare tutti gli impatti ambientali delle attività svolte come processi produttivi, prodotti e servizi, metodi di valutazione, quadro normativo, prassi e procedure di gestione ambientale già in uso;
- *dotarsi di un sistema di gestione ambientale*: sulla base dei risultati dell'analisi ambientale, creare un efficace sistema di gestione ambientale che punti a realizzare la politica ambientale dell'organizzazione ed a conseguire gli obiettivi di miglioramento definiti dal vertice aziendale. Il sistema deve specificare responsabilità, mezzi, procedure operative, esigenze di formazione, provvedimenti di monitoraggio e controllo, sistemi di comunicazione;
- *effettuare un audit ambientale* valutare l'efficacia del sistema di gestione e le prestazioni ambientali a fronte della politica, degli obiettivi di miglioramento, dei programmi ambientali dell'organizzazione, e delle norme vigenti;
- *predisporre una dichiarazione ambientale*:la dichiarazione ambientale deve descrivere i risultati raggiunti rispetto agli obiettivi ambientali fissati ed indicare in che modo e con quali programmi l'organizzazione prevede di migliorare continuamente le proprie prestazioni in campo ambientale;
- *ottenere la verifica indipendente da un verificatore EMAS:* un verificatore accreditato da un organismo di accreditamento EMAS di uno Stato membro deve esaminare e verificare l'analisi ambientale, il sistema di gestione ambientale, la procedura e le attività di audit, la dichiarazione ambientale*;*
- *registrare la dichiarazione presso l'organismo competente dello Stato membro:* la dichiarazione ambientale convalidata dal verificatore deve essere inviata all'Organismo competente dello Stato membro per la registrazione. Ottenuta la registrazione, l'organizzazione riceve un numero che la identifica nel registro europeo, ha diritto ad utilizzare il logo EMAS e mette a disposizione del pubblico la dichiarazione ambientale.

5.6.2.2 I VANTAGGI DELLA PARTECIPAZIONE AD EMAS

Alcuni dei vantaggi della partecipazione ad EMAS sono di seguito riportati:

- gestione ambientale di qualità;
- garanzia e conformità alla normativa ambientale;
- minori rischi di sanzioni correlate alla applicazione della normativa ambientale;
- informazioni ambientali convalidate in modo indipendente;
- gestione dei rischi ambientali;
- risparmio di risorse e riduzione dei costi;
- maggiori opportunità sui mercati sensibili ad una produzione rispettosa dell'ambiente;
- migliori rapporti con i clienti, le comunità locali e le autorità di controllo;
- miglior ambiente di lavoro;
- maggiore soddisfazione dei dipendenti;
- impiego del logo EMAS come strumento di marketing.

5.7 Le norme ISO 14000

Le *norme ISO serie 14000* rispecchiano, a livello internazionale, il generale consenso circa le attuali buone pratiche rivolte alla protezione dell'ambiente, applicabili a qualunque organizzazione e in qualunque parte del globo. L'intera serie ISO 14000 fornisce *strumenti manageriali per le organizzazioni che vogliano porre sotto controllo i propri aspetti ed impatti ambientali* e migliorare le proprie prestazioni in tale campo. Gli standard sugli SGA non indicano livelli prescrittivi di miglioramento della prestazione, ma indicano le modalità per gestire le attività in modo da perseguire gli obiettivi di prestazione autonomamente determinati. Una caratteristica chiave di tutti i *requisiti ISO 14000* è la loro natura volontaria. "Volontaria", in questo caso, significa *l'assenza di alcuna costrizione legislativa al loro utilizzo*. La decisione di applicare i requisiti ISO 14000 è pertanto una decisione di tipo strategico da prendersi a cura della direzione aziendale. Tale tipo di decisione prescinde dall'ottica di breve periodo: la motivazione può provenire dal bisogno di un maggiore controllo del rispetto dei regolamenti ambientali, dalla ricerca di efficienza nei processi, dalle richieste dei clienti, dalle pressioni della comunità, o semplicemente, dal desiderio di un comportamento responsabile delle imprese. Ciascuna organizzazione può anche scegliere di non adottare i modelli proposti da ISO 14000, e rivolgersi a mercati che non li richiedano.
Il gruppo di norme (certificabili e non certificabili) della serie 14000 comprende tematiche generali, quali i sistemi di gestione ambientale, e in aggiunta propone *tre tipologie di strumenti* utili per la sua attuazione:

- *LCA* (Life Cycle Assessment);
- *EPE* (Environmental Performance Evaluation);
- *Environmental Labelling.*

Tali norme hanno lo scopo di fornire una guida per la creazione e/o il miglioramento di un Sistema di gestione ambientale (SGA), attraverso il quale migliorare le prestazioni ambientali; fornire i mezzi con cui sia chi sta all'esterno, sia chi opera internamente all'organizzazione, può valutare gli aspetti specifici di un SGA e verificare la validità, ossia realizzare la verifica dell'SGA; fornire mezzi consistenti ed attendibili per dare informazioni sugli aspetti ambientali dei prodotti. Le norme di sistema hanno ormai raggiunto una larga applicazione in diversi settori del mercato grazie soprattutto alla possibilità di certificazione di un sistema di gestione ambientale secondo la ISO 14001.

5.7.1 Confronto tra EMAS ed ISO 14001

La ISO 14001 essendo una normativa internazionale, presenta un campo di applicazione allargato rispetto all'EMAS. ISO 14001 rappresenta un consenso internazionale e quindi costituisce un notevole risultato, ma non soddisfa tutti i requisiti di EMAS. Nella tabella che segue sono riportate le principali differenze tra i due sistemi:

Tabella 5.2: Principali differenze tra ISO 14001 ed EMAS

	ISO 14001	EMAS
OGGETTO	Organizzazione/Sistema	Siti produttivi
STANDARD	Di gestione	Di gestione e perfomance
AMBITO TERRITORIALE	In tutto il mondo	Solo in Europa
DESTINATARI	Si applica a qualsiasi organizzazione, pubblica o privata	Si applica solo ai siti industriali

FUNZIONE DELL'AUDIT	Strumento di controllo di gestione con periodicità non predefinita	Strumento di controllo di gestione con periodicità predefinita
OBIETTIVI	Mercato	Pubblica amministrazione, mercato
VINCOLI ISTITUZIONALI	Attualmente autonomo dall'operato degli organismi pubblici	Dipendente dall'attività di soggetti accreditati dall'Organismo Nazionale competente
TIPO DI PROCEDIMENTO	Modalità specificate dalla documentazione del Sistema di Gestione Ambientale	Dichiarazione ambientale vincolante e certificata obbligatoriamente dal competente body nazionale

E' possibile utilizzare la ISO 14001 come elemento sostitutivo di EMAS in quanto il 16 Aprile 1997 la Commissione ha adottato una decisione che riconosce gli elementi di ISO 14001 equivalenti ad EMAS. Tale decisione consente di usare la certificazione ISO come passaggio intermedio per la registrazione EMAS evitando così di compiere doppiamente medesimi passaggi. Le ISO 14001 è quindi la norma che può essere attuata da qualsiasi tipo di organizzazione che intenda conseguire un miglioramento nell'esercizio delle proprie attività attraverso l'adozione di un sistema di gestione ambientale; tale norma è stata recepita dal nuovo Regolamento EMAS. Ad essa, in un progressivo avvicinamento del sistema internazionale agli schemi europei, si sono aggiunte le norme del sottoinsieme ISO 14030 per la valutazione delle prestazioni ambientali e si sta aggiungendo la norma ISO 14063 per la comunicazione ambientale. Il sottoinsieme ISO 14020 disciplina, invece, diversi tipi di etichette e di dichiarazioni ambientali, standardizzando diversi livelli di informazione al pubblico sulle prestazioni ambientali di prodotti e servizi. Sotto questo punto di vista etichette e dichiarazioni svolgono un ruolo importante ai fini del consumo sostenibile, in quanto definiscono, in maniera credibile e trasparente, un limite che contraddistingue i prodotti più compatibili con l'ambiente da quelli meno compatibili. A queste si aggiunge la ISO 14040 che norma la metodologia da applicare nello studio sul ciclo di vita.

5.8 Le norme della serie ISO 14040

Le norme ISO 14040 esprimono come effettuare una Valutazione del Ciclo di Vita o LCA. La valutazione del ciclo di vita di un prodotto, è una metodologia che permette di eseguire uno studio completo sugli impatti ambientali del prodotto stesso considerandone tutto il ciclo di vita "dalla culla alla tomba", comprendendo quindi l'estrazione e la lavorazione delle materie prime, la fase di fabbricazione del prodotto, il trasporto e la distribuzione, l'utilizzo e l'eventuale riutilizzo del prodotto o delle sue parti, la raccolta, lo stoccaggio, il recupero e lo smaltimento finale dei relativi rifiuti. Oggi l'importanza del concetto di riciclo dei materiali ci induce a modificare l'espressione, e ci porta a dire che il ciclo di vita considera uno studio completo degli impatti ambientali "dalla culla alla culla", appunto per includere la possibilità di reintroduzione dei materiali, considerati rifiuti, nuovamente nel ciclo di vita inseguito a determinati trattamenti. La SETAC (Society of Envieronmental Toxicology and Chemistry) nel 1993 ne ha formulato per primo una definizione di riferimento per tutto il mondo scientifico: "*Procedura che permette di valutare gli impatti ambientali associati ad un prodotto, processo o attività, attraverso l'identificazione e la quantificazione dei consumi di materia ed energia e delle emissioni nell'ambiente e la valutazione delle opportunità per diminuire questi impatti. L'analisi riguarda l'intero ciclo di vita del prodotto: dall'estrazione e trattamento delle materie prime, alla produzione, trasporto e distribuzione del prodotto, al suo uso, riuso e manutenzione, fino al riciclo e allo smaltimento finale del prodotto dopo l'uso*".

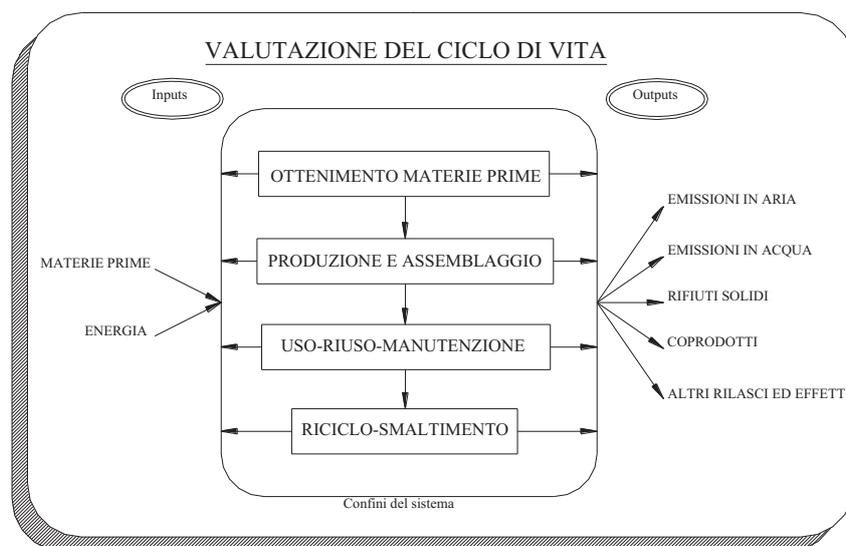



Fig.5.4 - Fasi del Ciclo di Vita

La LCA può risultare utile per le imprese come strumento per:

- identificare le opportunità di miglioramento, dal punto di vista ambientale, di un particolare ciclo produttivo di un prodotto, contribuendo anche all'ottimizzazione dell'uso delle risorse;
- supportare delle decisioni, nell'industria ma anche nelle organizzazioni governative e non governative, di pianificazione strategica, progettazione o riprogettazione di prodotti o di processi;
- scegliere degli indicatori ambientali;
- commercializzare un prodotto mediante una dichiarazione ambientale, un sistema di etichettatura ambientale, o un'asserzione ambientale auto-dichiarata dallo stesso produttore, con conseguenze positive in termini di immagine, quote di mercato, relazioni con le istituzioni, ecc.

La serie di norme ISO 14040 descrive come realizzare uno studio di LCA completo per qualsiasi tipologia di prodotti, non si tratta dunque di norme specifiche di prodotto, ma di norme contenenti requisiti generali applicabili a tutti i prodotti, indipendentemente dalla loro natura. Nato in ambito industriale alla fine degli anni '70, tale metodologia ha conosciuto una forte evoluzione negli anni '90. La struttura metodologica e le procedure di applicazione sono state standardizzate a livello internazionale. Il principio del Life Cycle Assessment è quello di ridurre gli impatti negativi, massimizzando il riciclaggio, e selezionare materiali che producano minimi danni ambientale. La LCA, applicata ai manufatti edilizi, mira alla riduzione globale di risorse, materiali, emissioni e rifiuti. La metodologia incoraggia la riduzione dell'uso delle risorse non rinnovabili evidenziandone gli impatti connessi, e mostra la capacità dell'applicazione dello strumento come supporto alle decisioni nella fase di progettazione. Inoltre aiuta ad identificare i costi di produzione dei materiali, i costi d'uso, e i costi di dismissione. Indirizza i progettisti e gli altri operatori del settore ad utilizzare materiali meno dannosi per l'ambiente, a cercare materie prime e forme di energia alternative e a modificare il processo di produzione ed il progetto degli edifici. La Life Cycle Assessment incoraggia la sostituzione dei prodotti dannosi, la riduzione dei rischi per la salute

dell'uomo ed una progettazione che favorisca il riuso dei prodotti, il riciclaggio di alcuni materiali, ed il recupero di materiali ed energia dai rifiuti. Come tutti i prodotti progettuali gli edifici hanno un loro ciclo di vita: vengono costruiti, usati e dimessi completamente o in parte. La Life Cycle Assessment non è utile unicamente per valutare l'impatto ambientale globale, ma è uno strumento che consente di verificare l'efficacia ecologica di differenti scelte progettuali. E' quindi una tecnica da utilizzare in principio sin dalle prime fasi del progetto. Per ottenere una valutazione chiara è necessario suddividere l'edificio in parti costruttive, in classi di elementi tecnici ed elementi tecnici, e valutare ognuna di esse in ogni fase del ciclo di vita (estrazione delle materie prime, inputs energetici, lavorazioni del prodotto, costruzione ,uso,conseguente manutenzione, riuso, riciclo e rifiuti). Per diversi materiali si otterranno diversi profili di impatto, quindi offrirà la possibilità di progettare in maniera eco l'edificio, concretizzando il progetto di eco-design. In più vi sarà la possibilità di progettare per il riciclaggio o specificare le modalità che massimizzano l'uso positivo dei rifiuti. (Cangelli, Paolella, 2001).
Uno studio di LCA si articola nelle seguenti 4 fasi:

- *definizione degli obiettivi dello studio e confini del sistema*: fase preliminare, definisce gli obiettivi che l'analisi LCA deve raggiungere;
- *analisi di Inventario (o Eco-Inventario, in inglese Life Cycle Inventory - LCI):* in questa fase si quantificano i flussi di materia e di energia in ingresso ed in uscita dalle varie fasi del ciclo di vita;
- *valutazione dell'Impatto (LCIA):* stima dei potenziali impatti ambientali associati ai flussi determinati nella fase precedente di inventario;
- *interpretazione dei risultati*: si esegue una valutazione degli output delle due fasi precedenti e se ne verifica la corrispondenza con gli obiettivi dello studio definiti nelle prima fase.

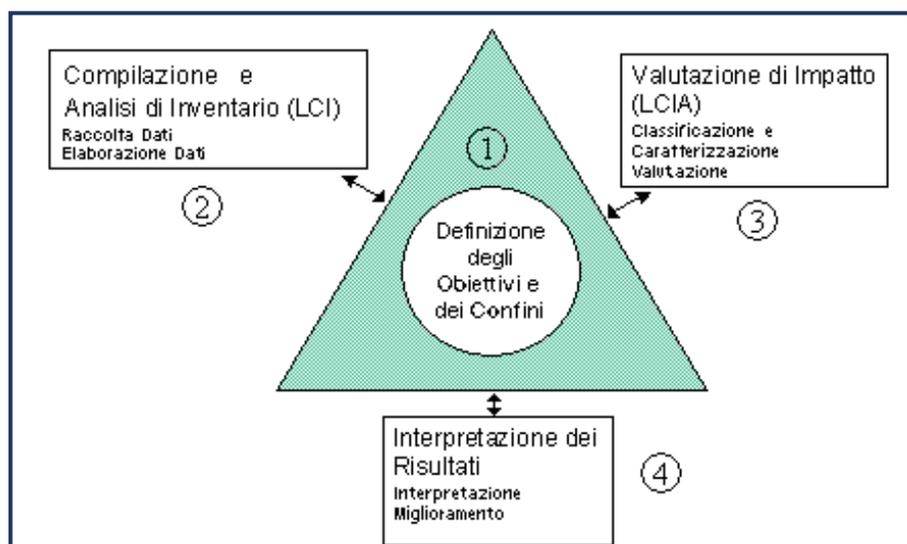



Fig. 5.5 - Schematizzazione delle fasi di LCA

E' importante notare che tutte le fasi delle LCA, e quindi anche i risultati, dipendono totalmente dagli obiettivi preposti allo studio e dalla scelta del campo di applicazione, che sono parametri soggettivi. Un altro parametro fondamentale di una LCA è *l'unità funzionale*; a tale entità si riferiscono tutti i dati in entrata e in uscita nonché i risultati dell'LCA. Più studi di LCA si possono comparare a patto che siano strettamente rispettate alcune condizioni ovvero che:

- l'*unità funzionale* dei due prodotti sia la stessa;
- la *qualità dei dati* utilizzati sia la stessa;
- tutte le *assunzione fatte* (per esempio a proposito dei confini del sistema studiato, gli obiettivi e il campo di applicazione) siano le stesse o, almeno, espresse in maniera assolutamente chiara e trasparente.

L'LCA fornisce un *profilo ambientale* completo del prodotto, servizio o attività preso in esame, e valuta il danno per mezzo dell'individuazione di *categorie di impatto* ambientale, espresse mediante degli *indicatori* di impatto che quantificano il danno sull'ambiente.

CAPITOLO 6 - Sostenibilità nella gestione dei rifiuti

6.1 Premessa

L'impatto ambientale è l'insieme degli effetti che una realizzazione, un impianto o una infrastruttura producono nel territorio circostante, essi provocano alterazioni di singole componenti dell'ambiente o del sistema ambientale complessivo. A tal proposito la norma ISO 14001/96 definisce l'impatto ambientale come qualunque modificazione dell'ambiente, negativa o benefica, totale o parziale, conseguente ad attività, prodotti o servizi di un'organizzazione. Secondo i criteri di uno sviluppo sostenibile le risorse naturali si devono utilizzare ad un ritmo tale che esse possano essere rigenerate naturalmente, ciò nel rispetto della capacità di un ecosistema di mantenere processi ecologici, biodiversità e produttività futura. Il problema dello smaltimento dei rifiuti è una priorità nell'agenda degli amministratori pubblici a livello globale in cui discariche, inceneritori e abbandono indiscriminato sul territorio di ogni tipo di rifiuto, sono vere e proprie emergenze sociali oltre che ambientali. Questo è un problema davvero grave che non può lasciare indifferenti, di fronte al quale sembra esserci una via d'uscita obbligata cioè cercare di limitare la produzione dei rifiuti e inquinare il meno possibile. E' determinante che questo semplice messaggio entri a far parte delle nostre azioni quotidiane. La risposta a questo trend è riassumibile in 2 parole: riduzione alla fonte e raccolta differenziata. La Riduzione alla fonte e riuso è quella sensibilizzazione che iniziano a porsi le molte aziende sul problema dello smaltimento dei propri imballaggi. La Raccolta differenziata è il metodo più economico ed ambientalmente sostenibile di gestire i rifiuti. Il suo indotto crea occupazione sul territorio, valorizza ciò che scartiamo veicolando anche un messaggio sociale importante e cioè quello di inquinare poco. Inoltre esso è facilmente controllabile dai cittadini stessi che, con alto senso civico, permettono di recuperare dal 65 al 85% dei RSU (rifiuti solidi urbani).

In Italia esistono molti Comuni che ottengono ottimi risultati superiori all'80% di materiale differenziato; tra le grandi città con più di 500.000 abitanti il primato spetta a Torino, che nel 2007 ha raggiunto più del 49% di raccolta differenziata. In molti dei Comuni che primeggiano nella raccolta differenziata viene applicato un incentivo diretto alla selezione. In pratica viene applicato il principio **"più inquini più paghi"**. Per contro **più ricicli più risparmi**. Per quanto riguarda la diffusione territoriale dei metodi di raccolta differenziata si passa dalla raccolta con sistema "multimateriale pesante" (imballaggi metallo, vetro, plastica) largamente diffuso in Toscana, Emilia-Romagna, Lazio e Veneto a quella di lattine e vetro attuata in Piemonte, Liguria e parte della Lombardia, alla raccolta dei soli imballi metallici in parte dell'Emilia-Romagna, Trentino-Alto Adige, fino ad arrivare alla più recente e innovativa raccolta "multimateriale leggera" (imballaggi in metallo e plastica) attuata in parte della Lombardia, Friuli, Veneto, Puglia, Calabria, Sicilia, Campania. Nel Comune di Terni in Umbria si utilizza la banda magnetica del tesserino del servizio sanitario nazionale per identificare il cittadino durante l'uso del distributore automatico di sacchi e così via via altri comuni sparsi in tutto il territorio nazionale stanno iniziando anche loro a muoversi secondo questa strategia di raccolta differenziata. La gestione dei rifiuti assume fondamentale importanza nell'attività della pubblica amministrazione, assorbendo buona parte delle sue risorse economiche, impegnando, oltre agli addetti del settore, le forze dell'ordine e della società civile. La produzione dei rifiuti, direttamente influenzata dallo sviluppo economico delle popolazioni e dall'inarrestabile consumismo, rimane, senza una mutazione degli schemi di consumi attuali,

destinata a crescere a tassi sempre più alti. L'elevata diversificazione dei processi produttivi, dà luogo a tipologie di rifiuti molto diversificate, aggravandone le problematiche di gestione e, di conseguenza, causando effetti sempre più dannosi per l'ambiente. **Quindi non essendo possibile evitare la produzione di rifiuti, occorre concentrare gli sforzi verso una loro minimizzazione a monte dei trattamenti, riducendo in volume e pericolosità del rifiuto le quantità da smaltire per il recupero di energia e lasciando come ultima scelta il suo conferimento in discariche opportunamente progettate e monitorate.** Migliorando l'efficienza di tutti quegli impianti migliorati nei processi di trattamento, riciclo mantenendo comunque, quanto più possibile, il livello di sostenibilità ambientale. Il punto di partenza è necessariamente la **responsabilizzazione di tutti i soggetti** che, a partire dal consumatore risalendo via via ai sistemi di distribuzione commerciale ed industriale intervengono a vario titolo nel ciclo di vita dei rifiuti.

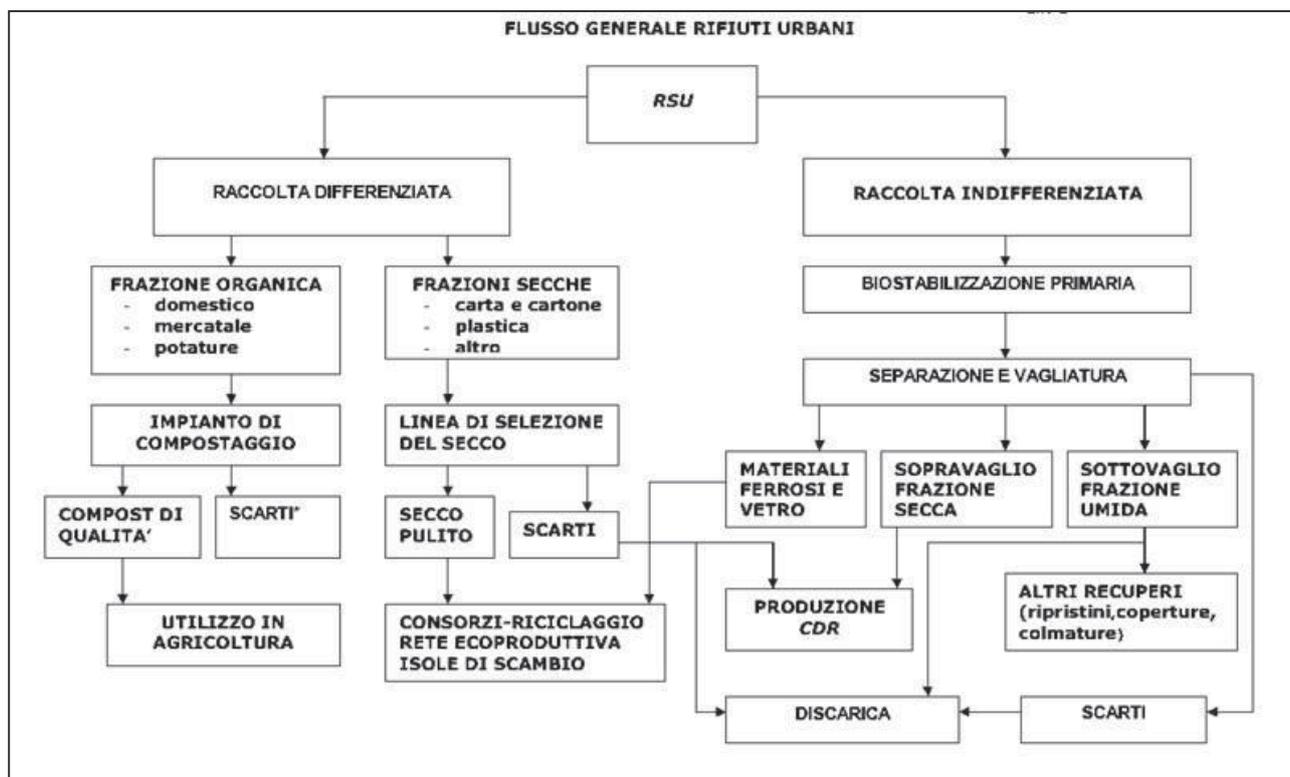



Fig. 6.1 - flusso di destinazione dei RSU

6.2 Informazione, Sensibilizzazione e incentivazione del cittadino sulla R.D.

Per dare un impulso alla raccolta urbana dei rifiuti oltre che stimolare sempre più l'adozione di modalità organizzative del servizio di raccolta differenziata che consentirebbero una crescita dimensionale qualitativa delle raccolte, è stato siglato un nuovo accordo quadro Anci-Conai 2009-2013 che prevede che venga riconosciuto e garantito nel tempo un corrispettivo economico, in funzione della quantità e della qualità dei rifiuti urbani raccolti, ai comuni che sottoscrivono le convenzioni col sistema CONAI - Consorzi. Questo nuovo accordo che ha una validità di 5 anni a decorrere dal 1° gennaio 2009, prevede che i corrispettivi economici, riconosciuti dal sistema consortile per i rifiuti di imballaggio raccolti dalle pubbliche amministrazioni, vengano rivalutati

annualmente dei 2/3 dell'indice nazionale dei prezzi al consumo. Inoltre, a supporto di una maggiore qualità dei materiali conferiti, fondamentale per la successiva fase di riciclo, verranno definiti nuovi limiti qualitativi in % di frazione estranea. Con l'obiettivo di puntare ad un sempre maggiore contenimento dei costi e ad una ottimizzazione delle rese di raccolta e riciclo, l'Anci e il Conai promuoveranno ed incentiveranno la diffusione di linee guida condivise, relative sia ai modelli organizzativi sia alle attrezzature della raccolta differenziata. Assumono quindi particolare rilievo l'impegno e la responsabilità delle parti nonché il cittadino in prima persona coadiuvato ed informato dal comune di appartenenza nel proseguire in modo costruttivo il negoziato giungendo all'obiettivo in maniera efficace. Proprio attraverso l'**informazione** e la **sensibilizzazione** dei cittadini sui benefici della raccolta differenziata si potrà procedere ad uno sviluppo sostenibile dell'ambiente in cui viviamo che a catena dovrà diventare lo sviluppo sostenibile del intero territorio. La protezione dell'ambiente e la tutela della salute dei cittadini sono i principi fondamentali alla base di una politica sulla gestione dei rifiuti, perchè è un'attività di pubblico interesse finalizzata ad assicurare un'elevata protezione dell'ambiente. Alla base di tutto ciò si colloca la prevenzione, la raccolta differenziata, il recupero sia di materia (riutilizzo e riciclaggio), che di energia e come ultimo anello mancante della catena lo smaltimento in discarica. Un primo ostacolo al buon funzionamento di un sistema di gestione integrata dei rifiuti è rappresentato dalla mancanza di consapevolezza da parte dei cittadini, del fatto che essi rappresentano il primo anello della catena per la gestione dei rifiuti. Proprio per tutti questi disagi scaturiti da una scarsa informazione o una errata gestione dei rifiuti, il VI programma europeo di azione per l'ambiente pone grande attenzione alla gestione sostenibile dei rifiuti, elencando una serie di interventi e di attività utili per il perseguimento degli obiettivi ambientali stabiliti disponendo che:

- i rifiuti non devono essere pericolosi o devono presentare rischi molto bassi per l'ambiente e per la salute dell'uomo;
- la maggior parte dei rifiuti deve essere reintrodotta nel ciclo economico mediante riciclo oppure deve ritornare nell'ambiente in modo utile o non pericoloso;
- le quantità da smaltire in modo definitivo devono essere ridotte al minimo assoluto, distrutte o messe in discarica in modo da non recare danno alla salute umana;
- il principio di prossimità deve essere applicato per cui il rifiuto deve essere trattato o smaltito vicino al luogo in cui è stato prodotto.[1]

Questo decreto legislativo n. 22 del 5 Febbraio 1997 detto “decreto Ronchi” modifica la precedente normativa (D.P.R. n.915 del 10 settembre 1982), ormai abrogata che considerava il rifiuto come un qualcosa destinato al solo smaltimento in discarica invece questo, inspirandosi alla cosiddetta gestione integrata dei rifiuti, disciplina le attività di raccolta, trasporto, recupero e smaltimento, con lo scopo dichiarato di prevenire la formazione di rifiuti, incentivare il recupero e di disincentivare l'uso delle discariche, ad oggi la forma di smaltimento più diffusa nel nostro Paese.

1 Bibl. Gestire i rifiuti cap1.1

Fig. 6.2 - esempio di ammasso di rifiuti urbani in discarica

È quindi una strategia necessaria per poter governare in modo sostenibile un processo dai complessi aspetti tecnici, economici, amministrativi, legali e ambientali; in quanto la gestione integrata non considera più il rifiuto come qualcosa di cui disfarsi, ma come una risorsa dalla quale produrre da esso nuovi materiali ed energia. La prevenzione deve essere incentivata attraverso lo sviluppo di tecniche appropriate per l'eliminazione di sostanze pericolose contenute nei rifiuti, attraverso la determinazione di specifiche condizioni di appalto che ne valorizzino le capacità e le competenze tecniche in materia. Lo schema logico conforme ai principi e alle prescrizioni della gestione integrata dei rifiuti prevede delle prescrizioni di cui:

a) la prima riguarda la diminuzione della quantità di rifiuti alla fonte e la produzione di beni poco inquinanti;
b) la seconda prescrizione riguarda l'attuazione di strategie per privilegiare il recupero, il riuso e il riciclaggio della materia. Tali strategie confluiscono su due azioni prioritarie: l'ottimizzazione dei sistemi di raccolta differenziata dei rifiuti, che dovranno risultare efficaci sotto il profilo tecnico, economico e ambientale, e lo sviluppo del mercato del recupero, del riuso e del riciclaggio dei rifiuti. *Le autorità competenti promuovono e stipulano accordi e contratti di programma con i soggetti economici interessati al fine di favorire il riutilizzo, il riciclaggio ed il recupero dei rifiuti, con particolare riferimento al reimpiego di materie prime e di prodotti ottenuti dalla raccolta differenziata, con la possibilità di stabilire agevolazioni in materia di adempimenti amministrativi nel rispetto delle norme comunitarie ed il ricorso a strumenti economici(art. 4,c.4, d. lgs. 22/97);*
c) la terza prescrizione concerne il recupero dell'energia intesa come produzione di calore e/o di energia elettrica a partire dal rifiuto "tal quale" sottoposto a processi di trattamento più o meno complessi quali, ad esempio , la produzione del combustibile derivato da rifiuti(CDR), ricavato dai rifiuti urbani mediante trattamento finalizzato all'eliminazione delle sostanze pericolose per la combustione e a garantire un adeguato potere calorico e recupero energetico, che possieda caratteristiche specifiche di norme tecniche;
d) la quarta prescrizione riguarda lo smaltimento in discarica intesa come la fase residuale della gestione integrata dei rifiuti.

Oggi in conformità del nuovo accordo di programma quadro Anci-Conai sottoscritto il 23 dicembre 2008 che ha validità fino al 2013 si evidenzia come i Comuni e reciproco impegno di Anci e Conai, ovvero della pubblica amministrazione , del mondo industriale e commerciale, debbano sostenere

un sistema di gestione di rifiuti imperniato sulla raccolta differenziata degli imballaggi. Il nuovo quadro quindi assicura il miglioramento della qualità delle raccolte differenziate anche in ragione del loro ruolo funzionale alle successive operazioni di riciclo dei materiali.

La produzione di rifiuti in Italia è aumentata dal 1995 al 2006 del 20%, con un tasso di crescita del 2,6% legato alle migliorate condizioni economiche della popolazione e come estratti del rapporto rifiuti 2006 pubblicato dall'ONR e dall'APAT[2] sono stati presentati i dati sulla produzione di rifiuti urbani totale e pro capite in Italia suddivisi per regioni. Al periodo attuale i valori di produzione di rifiuti in Sicilia aggiornati daal'ISPRA nel 2009 è stato registrato un totale di 2.650.411 (t), e un dato di pro capite di 507,6 kg/ab. Anno; circa 1,63 kg di rifiuti urbani al giorno per ogni abitante.

6.3 Raccolta differenziata

6.3.1 Metodi e criteri

Secondo il D.lgs. n. 152/2006 art 183 comma 1 lett. f, è la raccolta differenziata la metodologia idonea a raggruppare i rifiuti urbani in frazioni merceologiche omogenee destinate al riutilizzo e al riciclo ed il ciclo integrato dei rifiuti è riconosciuto dalla legge n. 123 del 14 luglio 2008 modificante il decreto-legge n. 90 del 23 maggio 2008. In Italia le società di gestione degli Ambiti Territoriali Ottimali (ATO) sono incaricate a coordinare le attività di gestione dei rifiuti, appaltare i servizi di raccolta e trasporto, pianificare le attività di smaltimento etc..[3]

La raccolta è organizzata su base comunale e le varie fasi di raccolta dei rifiuti si compongono in:

- Raccolta domestica ;
- Servizio di raccolta comunale che può essere dai bidoni ai mezzi di trasporto, oppure dalla raccolta porta a porta, oppure dai mezzi di trasporto alle piattaforme di stoccaggio o agli impianti di trattamento;
- Trasferimento in discarica o in impianti di recupero;

La raccolta differenziata permette di separare all'origine alcune classi merceologiche all'interno dei rifiuti (vetro ,alluminio, plastiche, altri metalli, carta etc.) e di riutilizzare o riciclare le stesse all'interno di diversi processi produttivi. È un sistema vantaggioso dal punto di vista ambientale, in quanto riduce la pressione sull'ambiente determinata dall'aumento dei rifiuti e dal loro smaltimento. Per questo il rifiuto è considerato come una vera e propria risorsa.

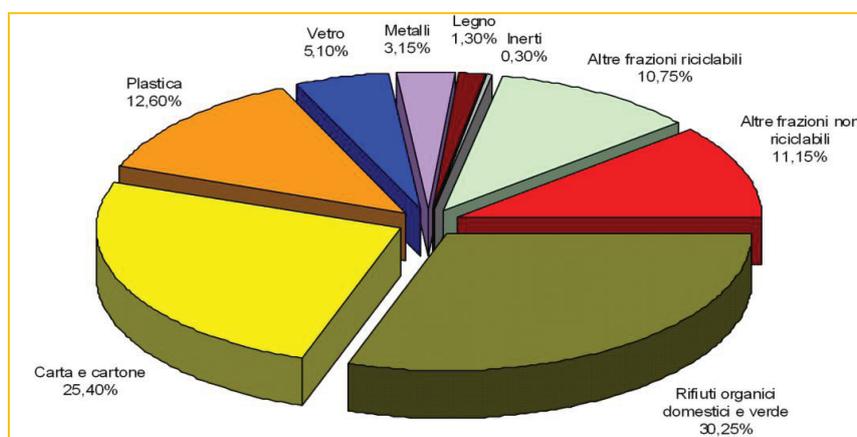



Fig.6.3 - diagramma a torta della differenziazione merceologica in Italia dei rifiuti in percentuali

2 Osservatorio nazionale dei rifiuti (ONR)- Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (APAT)

3 Vedi pag 122

Con l'ausilio di strumenti quali la metodologia Life Cycle Assestment (LCA), si può impostare all'origine il ciclo di gestione dei rifiuti urbani nel modo più razionale ed oggettivo possibile senza condizionamenti di alcun tipo e vengono valutati i risparmi in termini di materia e di energia derivanti dal processo di riciclo, tenendo presente che il sistema di raccolta differenziata costituisce una delle voci principali di costo nella gestione dei rifiuti urbani. La raccolta differenziata non è più intesa come solo raccolta e recupero dei RSU e di alcune singole frazioni di rifiuto, bensì come un sistema capace di intervenire in modo diverso sulla globalità del rifiuto prodotto, tutto seguendo modalità articolate nei diversi contesti in cui il rifiuto si origina. Sotto il profilo dell'organizzazione si prevedono sulla base dei singoli regolamenti comunali, i seguenti sottoinsiemi di tipologie di raccolta :

- Raccolta monomateriale;
- Raccolta multimateriale;
- Raccolte selettive;

La **raccolta monomateriale** è fatta negli specifici contenitori, ubicati all'interno di un'isola ecologica, che suddivide:

- vetro;
- plastica;
- carta e cartone;
- organico;
- alluminio/acciaio(metalli ferrosi e non).

Questo trattamento necessita di un ulteriore passo successivo di selezione, sia per eliminare i materiali estranei, sia per ottenere omogeneità nei materiali , come per esempio nelle plastiche dove per il cittadino è difficile saper separare i singoli polimeri(PET, PE, PVC, PS, PP).
La **raccolta multimateriale** si effettua raccogliendo e trattando separatamente tre grandi flussi di rifiuti domestici:

- frazione pesante e umida (tutte le componenti organiche che possono essere avviate al compostaggio per compost di qualità);
- frazione leggera e secca (tutti i materiali ligneo-cellulosici quali carta, cartone, legno, stracci e plastiche, ulteriormente separati in impianti per il recupero di componenti base;
- frazione di inerte e pesante, da cui possono essere selezionati in impianti le componenti ancora riutilizzabili, quali metalli e la componente residuale inerte da avviare a discariche.

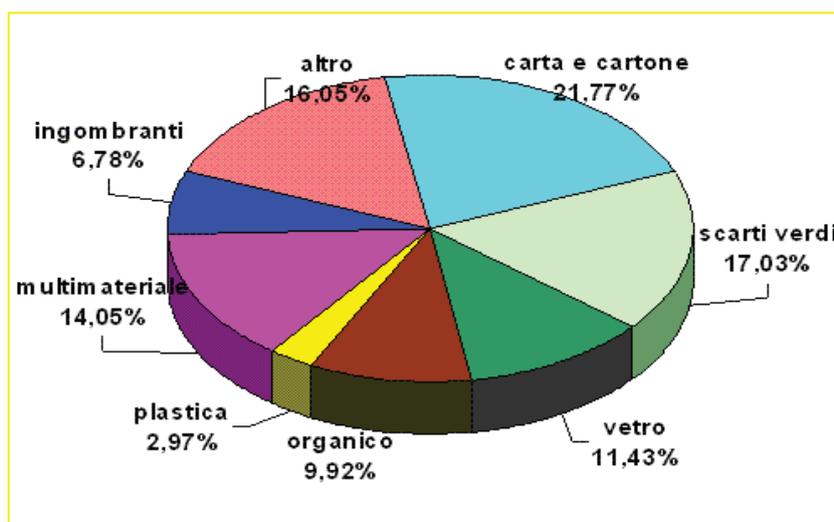



Fig. 6.4 - Diagramma a torta sulle percentuali di raccolta materiale nelle percentuali merceologiche

Le **raccolte selettive** consistono nella raccolta separata di quelle frazioni merceologiche non finalizzate al recupero di materia o di energia, ma necessitano comunque di un circuito di raccolta separato per garantire il corretto funzionamento delle fasi di smaltimento. Nello specifico si parla di rifiuti caratterizzati da un'elevata pericolosità specifica(oli vegetali usati, frigoriferi contenenti CFC, apparecchiature elettroniche, batterie per auto, lampade fluorescenti, prodotti chimici per uso domestico; e rifiuti che non sono necessariamente finalizzati al recupero, ma per le loro caratteristiche ingombranti hanno bisogno di utilizzare diversi sistemi di raccolta dei tradizionali. Giustamente prescindendo da una caratterizzazione socio-economica e territoriale di molti enti locali, nel descrivere un modello di raccolta proponibile, si fa riferimento al testo base per la progettazione del sistema di gestione comunale, ovvero il manuale ***"La raccolta differenziata-aspetti progettuali e gestionali - STRUMENTI E METODI",*** prodotto nel novembre 1999 dal Ministero per l'ambiente, a cura dell'Agenzia nazionale per la protezione dell'ambiente.

6.3.2. Vantaggi

Già sin dagli anni '60 è stata avviata una specie di raccolta differenziata degli RSU finalizzata al riciclo di quei materiali che presentavano la possibilità di collocazione nel mercato.
Al giorno d'oggi si è consapevoli che la raccolta differenziata ha un ruolo prioritario nella gestione dei rifiuti in quanto permette di ridurre il flusso dei rifiuti da avviare allo smaltimento e condizionare in maniera positiva l'intero sistema di gestione in quanto consente:

1. la valorizzazione delle componenti merceologiche dei rifiuti sin dalla fase di raccolta;
2. il recupero di materiali e di energia nella fase di trattamento finale;
3. la riduzione della quantità e della pericolosità dei rifiuti da avviare allo smaltimento indifferenziato, individuando tecnologie più adatte di gestione e minimizzando l'impatto ambientale dei processi di trattamento e smaltimento;
4. la promozione di comportamenti più corretti da parte di cittadini, con significativi cambiamenti dei consumi, a beneficio di politiche di prevenzione e riduzione.

In particolar modo va evidenziato il risultato della raccolta della frazione organica e quello della carta rispettivamente con tasso di crescita del 13,1% e del 7,3% fra il 2001 ed il 2003, dati che in quest'ultimo quinquennio sono incrementati.

6.3.3 Raccolta differenziata in Italia e Sicilia

La raccolta differenziata ha raggiunto nel 2009 una percentuale pari al 33,6% della produzione nazionale dei rifiuti urbani con un valore quantitativo di circa 11 milioni di tonnellate; tale valore segna un ulteriore passo avanti rispetto al 2008, anno in cui la percentuale di raccolta differenziata si attestava al 30,6%. Nonostante ciò il valore non è ancora sufficientemente alto né per conseguire l'obiettivo fissato dalla normativa vigente per il 31 Dicembre 2008 (45%) né ancora peggio quelli previsti per il 2007 e 2006, rispettivamente pari al 40 ed al 35%. Per maggiore chiarezza si riporta di seguito una tabella recante i valori minimi di raccolta differenziata stabiliti dal D.lgs. 152/2006 e successivi aggiornamenti.

Tabella 6.1 – Target percentuali di RD dal 2006 al 2012

Target di raccolta differenziata (%)	***Entro fine***
35	2006
40	2007
45	2008
50	2009
60	2011
65	2012

E' chiaro che il tasso di raccolta differenziata a livello nazionale appare notevolmente diversificata nelle tre macroaree geografiche: il Nord, infatti, pur non raggiungendo l'obiettivo fissato dalla normativa, si colloca per il 2009 ad una percentuale pari al 48%, mentre il Centro ed il Sud si attestano nello stesso anno a percentuali molo più basse e rispettivamente pari a 24,9 e 19,1%. *Per maggiore chiarezza si rimanda il lettore alla tabella e alle foto seguenti.*

Tabella 6.1 – Raccolta differenziata dei rifiuti urbani per macroarea geografica – anni 2005-2009

	2005		2006		2007		2008		2009	
	1000*t	%	1000*t	%	1000*t	%	1000*t	%	1000*t	%
Nord	5.378,0	37,9	5.827,1	39,9	6.204,4	42,4	6.742,7	45,5	7.025,3	48,0
Centro	1.388,2	19,2	1.471,6	20,0	1.529,9	20,8	1.673,2	22,9	1.788,3	24,9
Sud	905,8	8,8	1.077,2	10,2	1.225,7	11,6	1.516,9	14,7	1.963,0	19,1
Italia	**7.672,0**	**24,2**	**8.375,9**	**25,8**	**8.960,0**	**27,5**	**9.932,8**	**30,6**	**10.776,6**	**33,6**

	2005	2006	2007	2008	2009
	kg/ab*anno				
Nord	202	217	229	246	255
Centro	123	128	131	142	150
Sud	44	52	59	73	94
Italia	**131**	**142**	**150**	**165**	**179**

Fonte: ISPRA

	Nord	Centro	Sud	Italia
2005	37,9	19,2	8,8	24,2
2006	39,9	20,0	10,2	25,8
2007	42,4	20,8	11,6	27,5
2008	45,5	22,9	14,7	30,6
2009	48,0	24,9	19,1	33,6

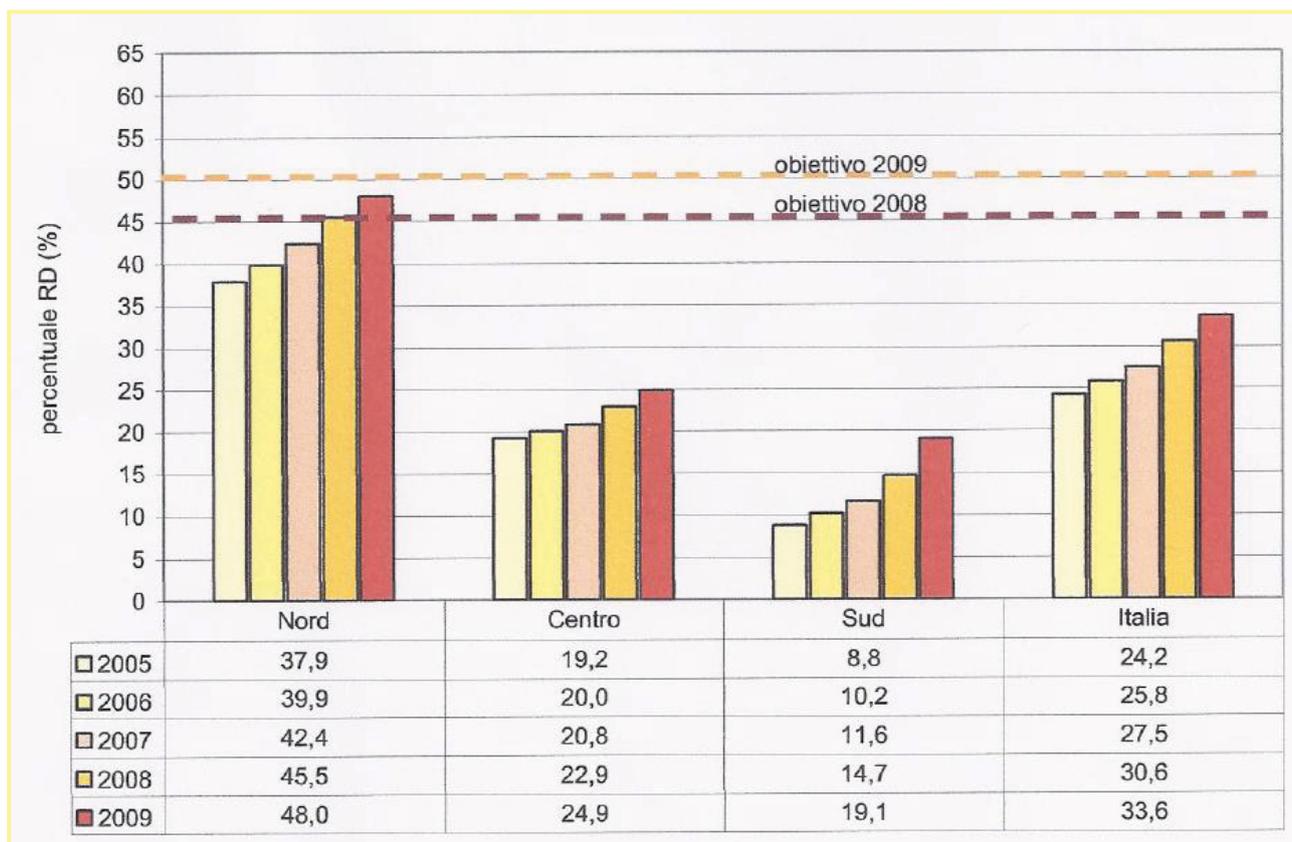



Fig. 6.5 – Andamento della percentuale di raccolta differenziata dei rifiuti urbani nel quinquennio 2005-2009. Fonte: ISPRA

In termini di quantitativi totali di RSU raccolti in modo differenziato, si rivela, tra il 2008 ed il 2009, una crescita di quasi 450 mila tonnellate nel Mezzogiorno (+29,4%) ed incrementi pari ad oltre 280 mila tonnellate al Nord (+4,2%) ed a circa 115 mila tonnellate al Centro (+6,9%). Tali crescite portano il valore della raccolta differenziata nel 2009:

- ad oltre 7 milioni di tonnellate per l'area Nord;
- quasi 2 milioni di tonnellate per l'area centrale;
- circa 1,8 milioni di tonnellate per il Sud.

Per quanto riguarda la raccolta differenziata procapite si rileva nell'anno 2009 una media nazionale pari a circa 179 kg/abitante*anno con valori di circa 255 kg/abitante*anno per il Nord, di circa 150 kg/abitante*anno per il Centro e di circa 94 kg/abitante*anno nel Mezzogiorno.

Entrando nel merito delle singole frazioni merceologiche risulta un incremento della raccolta differenziate della frazione organica (umido + verde) nel biennio 2008-2009 di circa 400 mila tonnellate. A livello di macroaree geografiche si rileva nell'anno 2009 un quantitativo di rifiuti organici complessivamente raccolto pari a quasi 2,6 milioni di tonnellate nel Nord, con un aumento di circa 130 mila tonnellate rispetto al 2008, e valori rispettivamente pari a quasi 520 mila tonnellate nel Centro ed a circa 660 mila tonnellate nel Sud. In quest'ultima macroarea geografica la raccolta della frazione organica fa segnare, rispetto al 2008, un crescita di circa 210 mila tonnellate, corrispondente ad un aumento di poco inferiore a 47 punti percentuali.

A completezza di quanto detto sopra si rimanda il lettore all'istogramma ed alla tabella di seguito riportati.

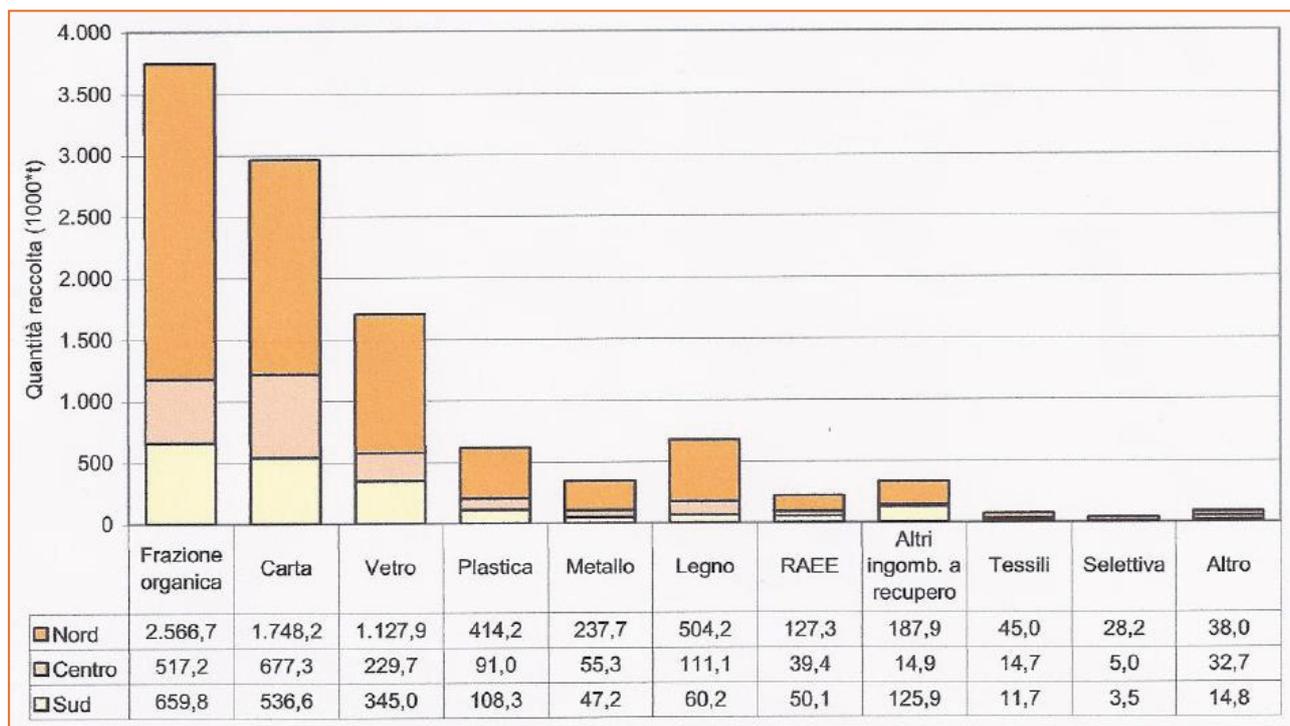



Fig. 6.6 – Ripartizione della raccolta differenziata delle singole frazioni merceologiche per macroaree geografiche nel 2009. Fonte: ISPRA

Tabella 6.2 – Ripartizione della raccolta differenziata delle singole frazioni merceologiche per macroaree geografiche nel biennio 2008-2009. Fonte: ISPRA

Area geografica	Anno	Frazione organica	Carta	Vetro	Plastica	Metallo	Legno	RAEE	Altri ingomb.	Tessili	Selettiva	Altro	Totale RD
		(1.000*t)											
NORD	2008	2.438,5	1.805,7	1.005,4	416,2	236,4	511,0	107,3	105,7	59,5	24,4	32,6	**6742,7**
	2009	2.566,7	1.748,2	1.127,9	414,2	237,7	504,2	127,3	187,9	45,0	28,2	38,0	**7.030,4**
CENTRO	2008	452,1	670,4	209,9	80,0	72,7	116,4	23,0	19,0	12,7	4,6	12,4	**1.673,2**
	2009	517,2	677,3	229,7	91,0	55,3	111,1	39,4	14,9	14,7	5,0	32,7	**1.788,3**
SUD	2008	449,8	458,0	280,9	81,3	44,7	53,5	26,3	96,4	8,1	3,2	14,7	**1.516,9**
	2009	659,8	536,6	345,0	108,3	47,2	60,2	50,1	125,9	11,7	3,5	14,8	**1.963,0**
ITALIA	2008	3.340,4	2.934,1	1.496,2	577,5	353,8	680,9	156,6	221,1	80,3	32,2	59,7	**9.932,8**
	2009	3.743,7	2.962,1	1.702,6	613,4	340,2	675,5	216,9	328,7	71,5	36,6	85,5	**10.776,6**

Nell'anno 2009, il quantitativo di rifiuti organici avviati ad impianti di compostaggio e digestione anaerobica risulta pari complessivamente a circa 3,5 milioni di tonnellate. Di poco inferiore a 3 milioni di tonnellate risulta nel 2009 il valore di raccolta differenziata della frazione cellulosica, che fa rilevare una sostanziale stabilità rispetto all'anno precedente. Il procapite si attesta a livello nazionale a circa 49 kg/abitante*anno al Nord, pari a circa 57 kg/abitante*anno al Centro e a quasi 26 kg/abitante*anno. La frazione cellulosica e quella organica rappresentano, nel loro insieme, oltre il 62% del totale della raccolta differenziata. Esse, inoltre, unitamente alle frazioni tessili ed al legno costituiscono i cosiddetti rifiuti biodegradabili, relativamente ai quali il D.lgs. 36 del 2003 ha introdotto specifici obiettivi di riduzione dello smaltimento in discarica. Il quantitativo di rifiuti biodegradabili raccolti in modo differenziato si attesta, nel 2009, a quasi 7,5 milioni di tonnellate con una crescita rispetto al 2008 di quasi 6 punti percentuali. Tale frazione costituisce una quota

pari a circa il 69% del totale dei rifiuti raccolti in modo differenziato.

Tabella 6.3 – Valori di raccolta differenziata totali e per singola categoria di rifiuti biodegradabili dal 2005 al 2009 Fonte: ISPRA

Anno	Frazione organica (umido + verde)	Carta e cartone	Legno	Tessili	Totale rifiuti biodegradabili	RD	Percentuale rifiuti biodegradabili sul totale RD
	(1.000*t)						(%)
2005	2.426,8	2.305,3	517,4	63,3	5.312,8	7.672,0	69,2
2006	2.701,1	2.528,5	580,7	70,4	5.880,7	8.375,6	70,2
2007	2.909,6	2.698,1	642,6	73,4	6.323,7	8.960,1	70,6
2008	3.340,4	2.934,1	681,0	80,3	7.035,8	9.932,8	70,8
2009	3.743,7	2.962,1	675,5	71,5	7.452,8	10.776,6	69,2

Fonte: ISPRA

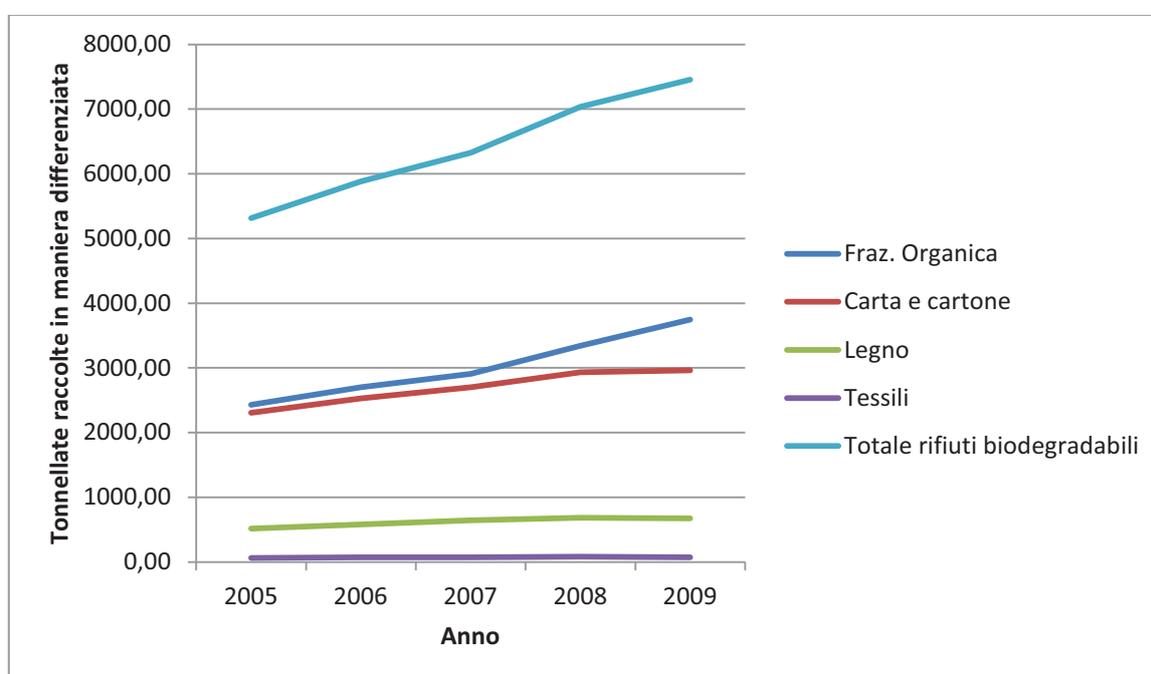



Fig. 6.7 – Andamento della raccolta differenziata dei rifiuti biodegradabili dal 2005 al 2009. Elaborazione personale su dati ISPRA

La raccolta differenziata del vetro è pari, nel 2009, a circa 1,7 milioni di tonnellate, facendo registrare una crescita percentuale del 13,8% circa rispetto all'anno precedente, mentre quella della plastica si attesta nello stesso anno a quasi 614 mila tonnellate, mostrando un incremento percentuale pari al 6,2% rispetto al 2008.

Un'ulteriore consistente crescita si osserva invece, per quanto riguarda i rifiuti di apparecchiature elettriche (RAEE), +38,5% tra il 2008 ed il 2009, corrispondente ad un incremento, in valore assoluto superiore a 60 mila tonnellate.

Infine, per quanto riguarda frazioni merceologiche quali acciaio ed alluminio, dopo il calo pari al 2,2% registrato tra il 2007 ed il 2008, si osserva nel 2009 un'ulteriore contrazione del 3,8% che porta il dato della raccolta differenziata a circa 340 mila tonnellate.

6.3.3.1. LA RACCOLTA DIFFERENZIATA NELLA REGIONE SICILIA

Nonostante il trend di crescita dal 2005 al 2009, la Regione Siciliana è ancora molto indietro rispetto alle Regioni del Centro e ancor di più rispetto a quelle del Nord; con una percentuale del 7,3% nel 2009, notevolmente inferiore rispetto agli obiettivi del 2008 e del 2009, la Sicilia è, da punto di vista della raccolta differenziata, la peggiore regione italiana: nel 2009 la quantità totale di rifiuti raccolti ha raggiunto il valore di circa 190 mila tonnellate, a fronte di una produzione totale di rifiuti pari a 2,6 milioni di tonnellate. Quanto appena detto si evince chiaramente nella tabella e nell'istogramma seguenti.

Tabella 6.4 – Percentuali di raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani per singola regione italiana dal 2005 al 2009

Regione	2005	2006	2007	2008	2009	Variazione della percentuale di RD 2008-2009
			(%)			
Piemonte	37,2	40,8	44,8	48,4	49,8	1,4
Valle d'Aosta	28,4	31,3	36,1	38,6	39,1	0,5
Lombardia	42,5	43,6	44,5	46,2	47,8	1,6
Trentino Alto Adige	44,2	49,1	53,4	56,8	57,8	1,0
Veneto	47,7	48,7	51,4	52,9	57,5	4,6
Friuli Venezia Giulia	30,4	33,3	37,7	42,6	49,9	7,3
Liguria	15,7	16,7	19	21,8	24,4	2,6
Emilia Romagna	31,4	33,4	37	42,7	45,6	2,9
Nord	**37,9**	**39,9**	**42,4**	**45,5**	**48,0**	**2,5**
Toscana	30,7	30,9	31,3	33,6	35,2	1,6
Umbria	21,5	24,5	25	28,9	30,4	1,5
Marche	17,6	19,5	21	26,3	29,7	3,4
Lazio	10,4	11,1	12,1	12,9	15,1	2,2
Centro	**19,2**	**20,0**	**20,8**	**22,9**	**24,9**	**2,0**
Abruzzo	15,6	16,9	18,6	21,9	24,0	2,1
Molise	5,2	5,0	4,9	6,5	10,3	3,8
Campania	10,6	11,3	13,5	19,0	29,3	10,3
Puglia	8,2	8,8	8,9	10,6	14,0	3,4
Basilicata	6,5	7,8	8,1	9,1	11,3	2,2
Calabria	8,6	8,0	9,1	12,7	12,4	-0,3
Sicilia	5,7	6,6	6,2	6,7	7,3	0,6
Sardegna	9,9	19,8	27,8	34,7	42,5	7,8
Sud	**8,8**	**10,2**	**11,6**	**14,7**	**19,1**	**4,4**
Italia	**24,2**	**25,8**	**27,5**	**30,6**	**33,6**	**3,0**

Fonte: ISPRA

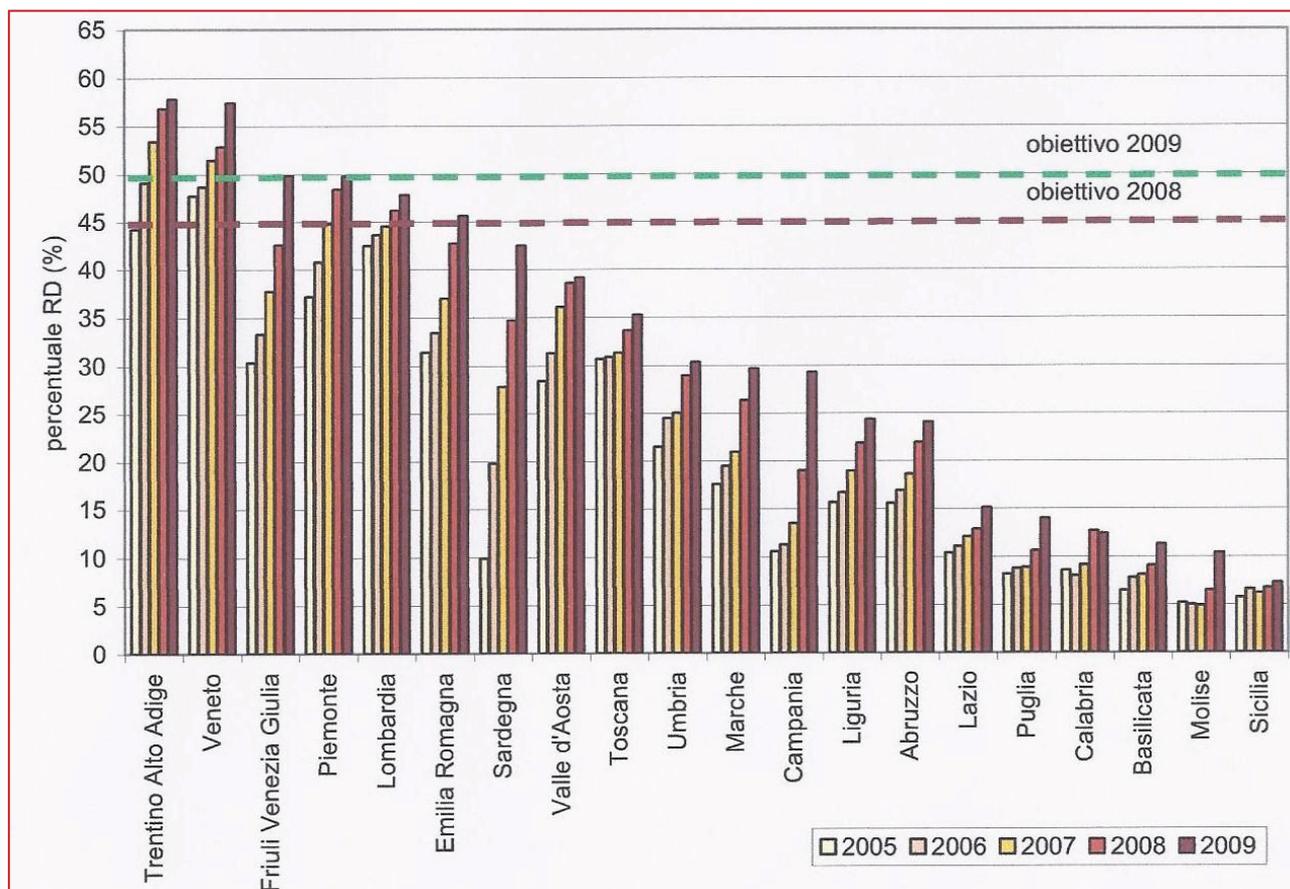



Fig. 6.8 – Percentuali di raccolta differenziata dei rifiuti urbani per regione nel quinquennio 2005-2009. Fonte: ISPRA

A completezza del presente paragrafo, si è voluto entrare di seguito nel merito delle nove Province siciliane facendo riferimento ai dati estratti dal documento intitolato “Produzione e gestione dei rifiuti solidi urbani in Sicilia redatto dall’ARPA nell’Aprile 2010, relativi al tasso di raccolta differenziata nella Regione Sicilia sino al 2007. La tabella seguente riporta le quantità di rifiuto differenziato dal 2004 al 2007 per ciascuna Provincia siciliana.

Tabella 6.4 – Valori della raccolta differenziata per Provincia dal 2004 al 2007

Provincia	2004		2005		2006		2007	
	[t]	%	[t]	%	[t]	%	[t]	%
Agrigento	12.057	6,2	12.199	6,2	20.662	9,2	22.840	10,8
Caltanissetta	5.579	4,5	5.122	4,0	5.406	4,1	3.723	2,9
Catania	29.060	4,6	38.780	5,6	32.857	5,1	39.280	6,1
Enna	3.974	5,5	5.404	7,3	5.138	7,0	5.113	6,8
Messina	7.403	2,5	5.024	1,9	8.977	2,8	12.420	3,6
Palermo	46.610	7,0	40.161	5,6	64.514	9,2	46.582	6,6
Ragusa	13.426	8,5	12.014	7,8	12.066	7,9	11.042	7,1
Siracusa	8.411	4,1	7.949	4,7	7.062	3,4	7.199	3,5
Trapani	11.746	5,6	16.481	7,4	19.324	8,7	16.607	7,7
Sicilia	**138.266**	**5,4**	**143.133**	**5,5**	**176.006**	**6,6**	**164.806**	**6,1**

Fonte: Elaborazione ARPA Sicilia su dati ISPRA

Su base provinciale il trend nel periodo 2004-2007 è piuttosto diversificato. Agrigento è l'unica provincia in cui si registra una continua crescita della percentuale di raccolta differenziata; all'opposto Caltanisetta, Enna, e Ragusa presentano un trend in diminuzione. Con riferimento alla situazione del 2007 la provincia di Agrigento, con il 10,8, presenta la percentuale di raccolta differenziata di rifiuti urbani più alta delle Province siciliane. Caltanissetta, Messina e Siracusa mostrano le percentuali più basse (intorno al 3%); le rimanenti province si collocano in posizione intermedia con valori intorno al 6-7%.

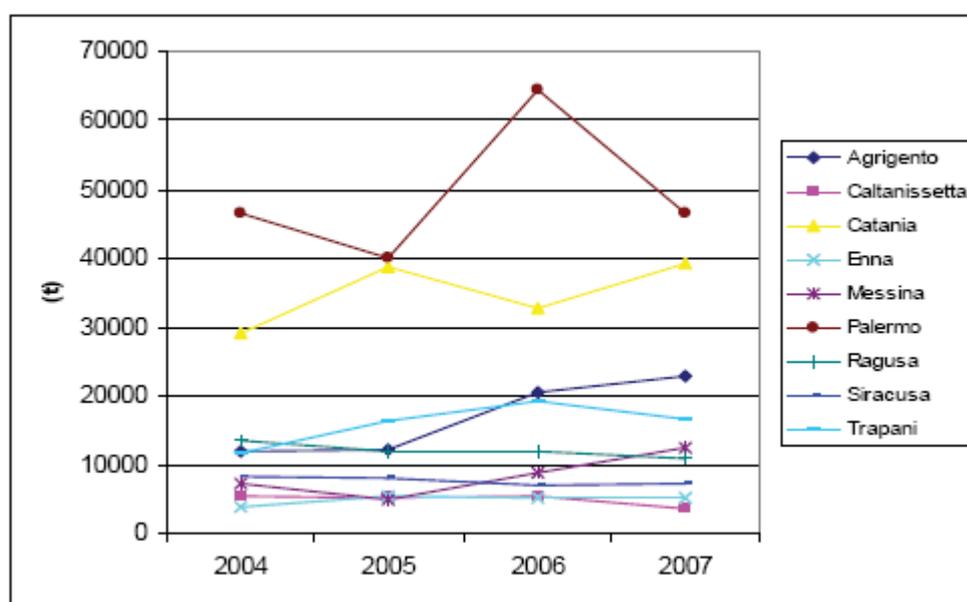



Fig. 6.9 – Trend della percentuale per Provincia di rifiuti raccolti in modo differenziato nel periodo 2004-2007 –Elaborazione ARPA Sicilia su dati ISPRA

Al fine di dare al lavoro un maggiore grado di dettaglio si è voluto indicare, per ciascuna Provincia Regionale, le quantità delle varie frazioni merceologiche di RSU raccolte in maniera differenziata.

Tabella 6.5 - Raccolta differenziata delle singole frazioni merceologiche nell'anno 2007 (t)

Provincia	Frazione Umida Organico	Frazione Umida Verde	Vetro	Plastica	Legno	Carta	Metalli*	Tessili	RAEE	Altri Ingombranti a recupero	Raccolta Selettiva	Altro	TOTALE
Agrigento	35	1.954	6.951	5.793	0	5.357	814	238	959	692	46	3	22.841
Caltanissetta	0	0	499	327	171	1.611	637	18	423	0	10	28	3723
Catania	4.916	1.914	3.966	2.087	1.392	16.750	186	86	835	165	18	6.967	39.280
Enna	0	0	1.618	731	91	2.273	111	37	165	0	14	73	5113
Messina	1.125	0	3.649	886	96	3.426	1.106	69	1.294	737	26	7	12.420
Palermo	15.085	749	4.334	2.332	2.964	17.443	1.089	233	1.234	609	65	445	46.582
Ragusa	105	289	735	520	735	7.224	474	0	472	205	3	208	10.970
Siracusa	0	381	508	927	1.122	2.941	703	48	525	0	12	32	7199
Trapani	1.785	1.960	1.055	638	1.325	7.343	1.485	252	469	0	36	259	16.607
Sicilia	**23.051**	**7.247**	**23.313**	**14.239**	**7.897**	**64.367**	**6.605**	**981**	**6.376**	**2.407**	**230**	**8.093**	**164.806**

*Fonte: Elaborazione ARPA Sicilia su dati ISPRA pubblicati sull'Annuario 2009 - * Comprendono anche l'alluminio*

A conclusione del presente paragrafo, si fa notare come:

- la raccolta indifferenziata dei rifiuti sia ancora la tecnica maggiormente praticata;

- tutte le Province siciliane rimangono comunque molto lontane dagli obiettivi di raccolta differenziata fissati dalla normativa statale e regionale.

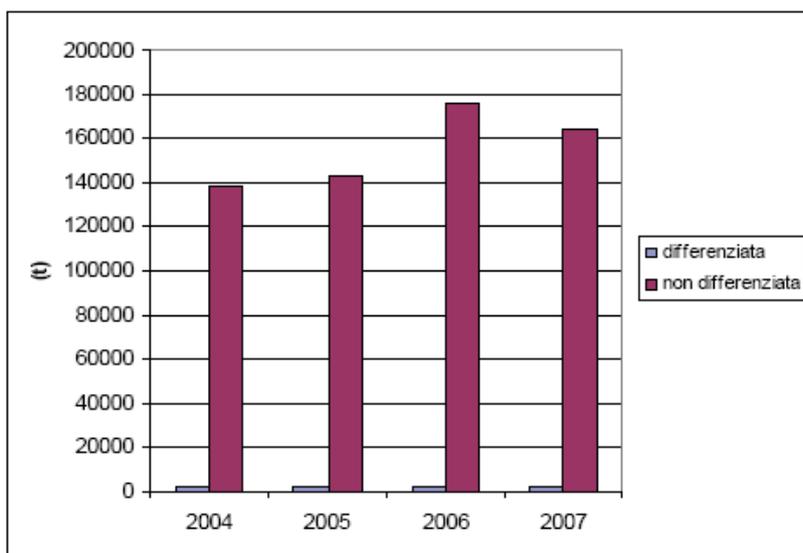



Fig. 6.10 – Confronto tra quantità di rifiuti raccolti in maniera differenziata e non Elaborazione ARPA Sicilia su dati ISPRA

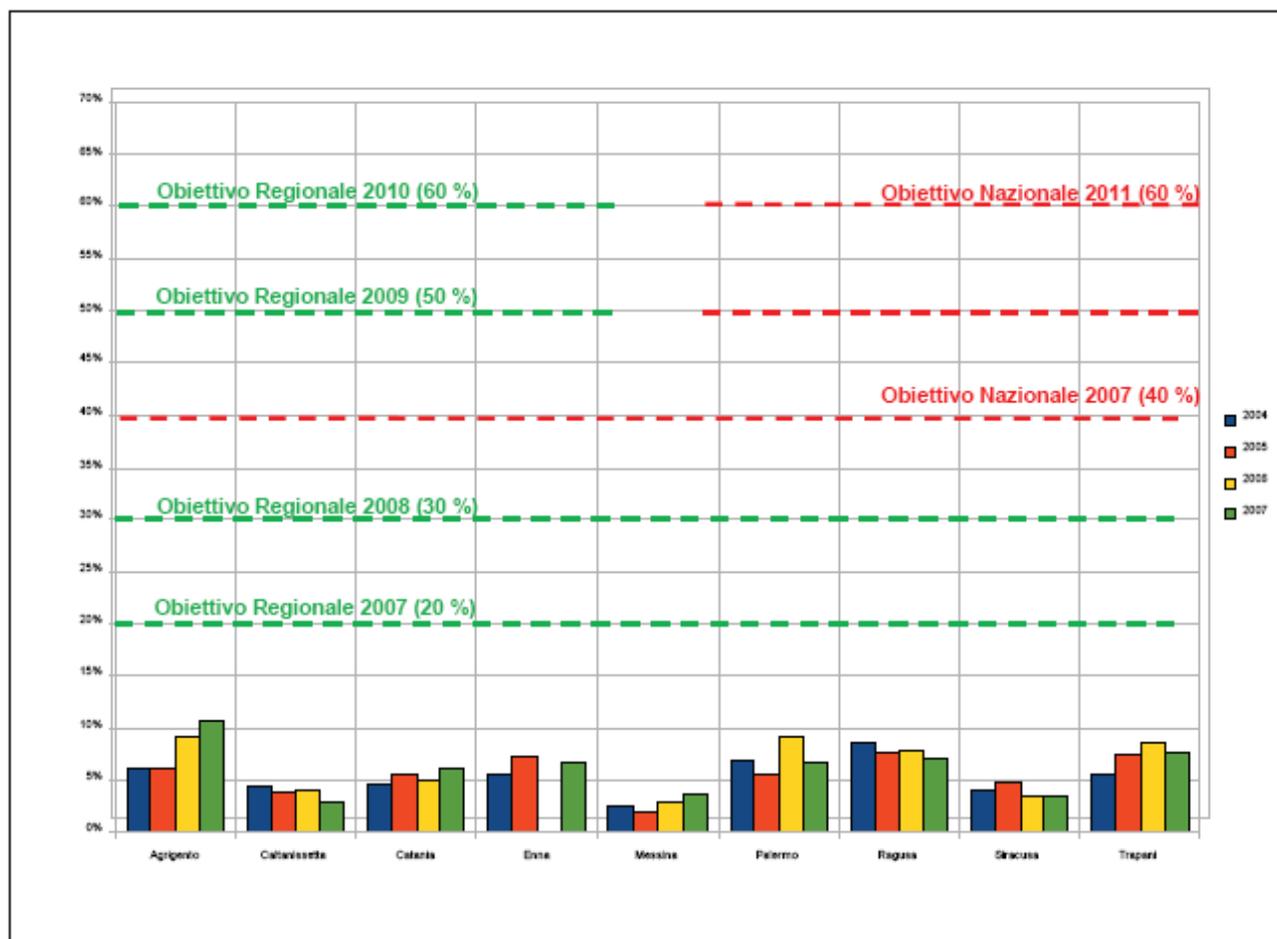



Fig. 6.9 –Percentuale di rifiuti urbani raccolti in modo differenziato per provincia nel periodo 2004-2007 e raffronto con gli obiettivi nazionali e regionali –Elaborazione ARPA Sicilia su dati ISPRA

6.4 Centri comunali di raccolta e Isole ecologiche

Questo paragrafo nasce dalla necessità di dare la dovuta importanza a quelle che sono le infrastrutture di sostegno alla raccolta differenziata quali *isole ecologiche e/o centri comunali di raccolta.* Queste sono definite sulla base delle attività svolte al proprio interno e delle dimensioni degli ambiti territoriali di riferimento e sono così suddivise:

- *di I livello* quelle in cui vengono conferite e asportate, senza alcun trattamento tutte le frazioni di RU la cui raccolta separata è obbligatoria per legge(*isole ecologiche);*
- *di II livello* quelle in cui sono previste le attrezzature per un primo trattamento di tutte le frazioni separate di RU o parti di esso(pressa, imballo, compostaggio) (centri comunali di raccolta);
- *di III livello* quelle poste a servizio di ambiti territoriali vasti per il quale si realizzano impianti tecnologici complessi per un trattamento spinto del materiale separato conferito.

Fig. 6.15 - esempio di isola ecologica del tipo interrata con sistema di sollevamento

Attraverso questo insieme di raccolta chiamata integrata sarà possibile avere a disposizione tutti i dati per il passaggio da tassa a tariffa e quindi gestire la tariffa stessa, ma poter anche premiare i comportamenti più sensibili alla R.D. tramite premi quantitativi, cioè attraverso sistemi di pesatura capaci di rilevare il rifiuto anche nel caso di basse percentuali (5%) di riempimento del più piccolo contenitore utilizzabile; ed in futuro prevedere attraverso sistemi di localizzazione (GPS) collegati ai SIT (SISTEMI INFORMATIVI TERRITORIALI) per il posizionamento su cartografia del territorio dei mezzi durante il loro utilizzo sia dei cassonetti dotati di un loro transponder per ottimizzare i percorsi e le frequenze di svuotamento.

Fig. 6.16 - altro esempio di isola ecologica con sistema di carta magnetica per la registrazione dei quantitativi di rifiuti raccolti

6.5 Impianti di selezione

Gli impianti di selezione sono in sostanza dei siti che puliscono i rifiuti da raccolta differenziata e li avviano privi di materiale estraneo agli impianti produttivi. Sono fondamentali nel processo di riciclo, poiché uno dei maggiori problemi nella raccolta differenziata è legato proprio alla presenza di materiale estraneo nelle diverse tipologie di rifiuto. Dall'arrivo e pesatura dei mezzi i rifiuti vengono scaricati e con dei nastri trasportatori selezionati e quindi in delle cabine degli operatori selezionano le varie tipologie di rifiuto. Il tutto può essere finalizzato allo scopo di poter realizzare una produzione di compost di qualità dai residui organici raccolti in maniera differenziata per l'impiego in agricoltura oppure dalla selezione dei rifiuti indifferenziati estrapolarne quelli ad elevato potere calorifico per inviarli al termoutilizzatore per la produzione di energia. Infine pulizia e valorizzazione delle altre materie provenienti da raccolta differenziata per un loro migliore riciclo.

Fig. 5.17- Esempio di impianto di selezione

6.6 Impianti di recupero

Il decreto del Ministero dell'Ambiente n°186 del 5 Aprile 2006 entrato in vigore a giugno dello stesso anno che individua i rifiuti non pericolosi sottoposti a procedura di recupero ai sensi dell'articolo 214 del D.lgs. 152/2006 ex artt. 31 e 33 del D.lgs. 22/97. Le attività di recupero si devono adeguare alle norme tecniche dell'allegato 5 entro sei mesi (3/12/2006) e fino a quella data il loro esercizio era consentito con le modalità del rispetto delle condizioni, delle prescrizioni, e delle norme del nuovo Regolamento. Questo regolamento dettava e definiva le quantità massime di rifiuti non pericolosi di cui all'Allegato 1, sub-allegato 1 del DM 5/2/1998 nonché di messa in riserva sulla base delle singole attività di recupero ed individuava per quest'ultime sia le tipologie dei rifiuti che i relativi codici rifiuto(CER,la provenienza, caratteristiche chimico-fisiche del rifiuto, le attività di recupero e le caratteristiche delle materie prime e/o dei prodotti ottenuti dalle attività di recupero). Esso garantisce inoltre percorsi autorizzativi preferenziali per i sistemi di recupero di materia, recupero energetico e recupero ambientale, purchè vengano rispettate le condizioni tecniche ed operative previste. Lo stesso decreto affida alle province il compito di verificare la sussistenza dei presupposti e dei requisiti previsti per l'applicazione delle procedure semplificate per le imprese che effettuano la comunicazione di inizio attività di recupero dei rifiuti, registrandosi in un apposito registro delle imprese. Il recupero di materia (compresi i rifiuti recuperabili da RSU e da rifiuti speciali non pericolosi assimilati per la produzione di combustibile da rifiuti, nonché rifiuti compostabili) → **impianti di riciclo**; Il recupero energetico(utilizzazione di rifiuti non pericolosi come combustibile o come altro mezzo per produrre energia) → **impianti termovalorizzatori**; Il recupero ambientale (utilizzo di rifiuti non pericolosi per la restituzione di aree degradate ad usi produttivi o sociali attraverso rimodellamenti morfologici); Messa in riserva di rifiuti non pericolosi destinati ad attività di recupero. Le attività di recupero rientrano nella nozione di gestione dei rifiuti e, come tali, sono soggette ad autorizzazioni in forma ordinaria o, qualora ricorrano le condizioni, in forma semplificata.

6.6.1 Riciclaggio

I RSU sono costituiti da una miscela disomogenea di materiali difficilmente separabili; pertanto è necessario che la separazione sia fatta a livello domestico. Una prima separazione del rifiuto riguarda la frazione *secca* da quella *umida*. La frazione secca deve essere ulteriormente separata in una parte da avviare al recupero (carta, metalli, vetro), e una parte da smaltire. I rifiuti pericolosi (farmaci, pile) vanno, invece, portati negli appositi punti di raccolta per essere destinati successivamente allo smaltimento controllato. Analizziamo ora i nostri rifiuti. La carta e il cartone rappresentano il 25% in peso dei rifiuti posti nel cassonetto e la percentuale sta crescendo sia per l'aumento degli imballaggi, sia per le montagne di pubblicità cartacea. Ognuno di noi consuma almeno 80 Kg di carta l'anno. Dei 7,6 milioni di tonnellate di carta buttata, vengono recuperate 2200 tonnellate. La maggior parte di questa carta arriva da banche, grandi uffici, industrie. La raccolta spicciola, invece, ha un'incidenza limitata. I riciclaggio di una tonnellata di carta usata consente di non abbattere circa 15 alberi. Il processo di riciclaggio può essere ripetuto fino a sette volte. Sarebbe opportuno, inoltre, utilizzare la carta riciclata non sbiancata con il cloro, poiché questo trattamento risulta altamente inquinante. Nel bidone dei rifiuti troviamo diversi tipi di

plastica quali: PVC (polivinilcloruro):bottiglie, rasoi, ecc.; PET (polietilen-tereftalato): bottiglie di acqua minerale; PP (polipropilene): siringhe monouso, nastri adesivi, vernici, bacinelle, ecc.; PE (polietilene): sacchetti di plastica, sacchi neri per la spazzatura, taniche e tappi; PST (polistirolo): bicchieri, piatti, ecc.

*Tabella 6.3- valori di materiali dedicati al recupero e al riciclaggio provenienti da superfici pubbliche e privateanno2004-2008 (Fonte ISPRA con valori 1000*tonnellate)*

Materiale	Riciclaggio					Recupero energetico					Totale recupero				
	2004	2005	2006	2007	2008	2004	2005	2006	2007	2008	2004	2005	2006	2007	2008
Acciaio	324	356	369	391	374	0	0	0	0	0	324	356	369	391	374
Alluminio	30,6	33,1	35,1	38,6	38,5	8,5	4,7	4,7	4,8	3,7	34,5	37,8	39,8	43,4	42,2
Carta	2.703	2.875	2.931	3.218	3.323	421	444	401	376	356	3.124	3.319	3.332	3.594	3.679
Legno	1.600	1.400	1.559	1.539	1.429	33	287	228	200	90	1.633	1.687	1.787	1.739	1.519
Plastica	510	547	607	645	673	594	629	645	687	664	1.104	1.176	1.252	1.332	1.337
Vetro	1.203	1.211	1.256	1.303	1.390	0	0	0	0	0	1.203	1.211	1.256	1.303	1.390
Totale	**6.371**	**6.422**	**6.757**	**7.135**	**7.228**	**1.057**	**1.365**	**1.279**	**1.268**	**1.114**	**7.423**	**7.787**	**8.036**	**8.402**	**8.341**

Nel 2008 sono stati immessi al consumo circa 8 miliardi di contenitori plastici. La quantità riciclata nello stesso anno è stata di circa 7.228.000 tonnellate. Per ogni Kg di plastica riciclato si risparmiano 1,7 Kg di petrolio. Dalla plastica riciclata (dalle bottiglie in particolare) si ricavano fioriere, palle da tennis, pullover e giubbotti. Però la possibilità di riciclo riguardano prevalentemente la plastica omogenea; pertanto sarebbe ideale organizzare una raccolta differenziata per i generi più noti o una successiva selezione a valle. Il vetro è riciclabile in modo vantaggioso. Dei 2 milioni di tonnellate (8%) usato ogni anno, ne viene recuperato il 53%. L'alluminio è pregiato e il suo riciclaggio è possibile quasi integralmente con un enorme risparmio. Produrre alluminio *vergine* ha un notevole costo ambientale: la bauxite necessaria genera, durante la lavorazione, scorie tossiche. Per produrre una tonnellata di alluminio servono 17.000 KWh di elettricità, 5 tonnellate di bauxite, criolite, allumina, soda e petrolio. Riciclare il prodotto finito fa risparmiare il 95% di energia. Enorme è lo spreco delle lattine. I prodotti chimici sono generalmente considerati pericolosi. Devono pertanto essere previste raccolte differenziate anche per tali materiali che rientrano nella costituzione del rifiuto urbano. Essi recano sulla confezione "T" o "F", e al loro eliminazione finale dovrebbe avvenire attraverso impianti di smaltimento appositi. Le pile prevedono una raccolta differenziata e uno stoccaggio definitivo in discarica controllata con un trattamento particolare in impianti ancora poco diffusi sul territorio nazionale. In Italia si consumano 400 milioni di pile ogni anno. La loro pericolosità è data dal contenuto di metalli pesanti. Ultimamente l'industria è riuscita a produrre pile senza mercurio e cadmio. Da tale categoria restano fuori quelle a *bottone* che coprono il 10% e per loro non è stata ancora trovata un'alternativa ecologicamente *pulita*. **Comunque sia, bisogna precisare che non si può riciclare il 100% delle merci usate. Per vari motivi, prima o poi una parte di questi si trasforma in composti indesiderati che devono pur trovare soluzioni di smaltimento controllato.**

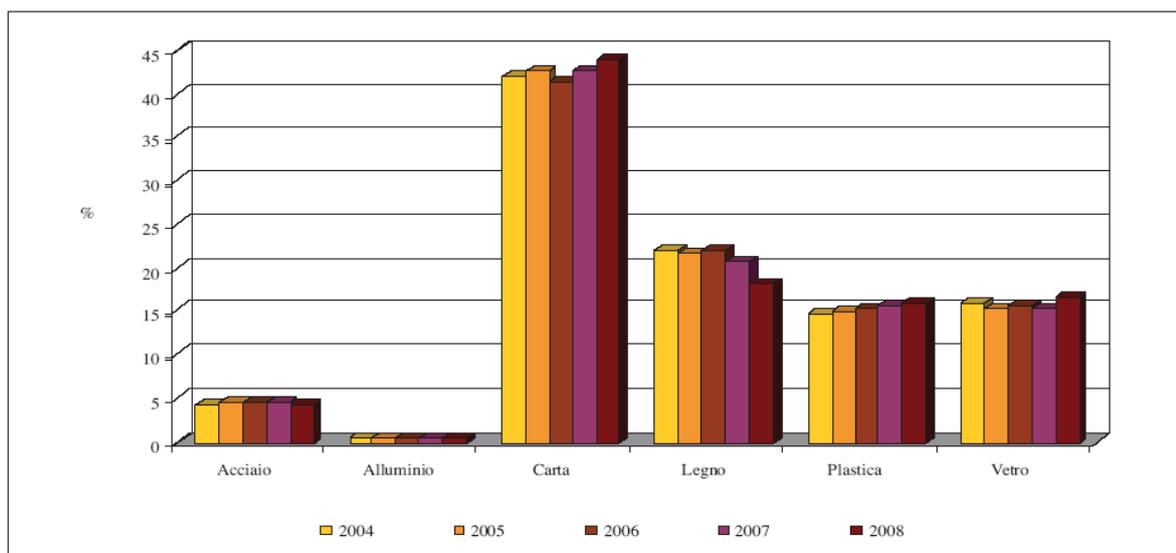



Fig. 6.18 - distribuzione percentuale del recupero dei rifiuti di imballaggio, anni 2004-2008

6.6.2 Il termovalorizzatore: informazioni di base

Gli inceneritori sono impianti che bruciano i rifiuti a temperatura elevate di circa 800-1000°C, producendo dei sottoprodotti quali ceneri, fumi ed eventuali acque di lavaggio dei fumi. Dai dati di alcuni studi, si evince che in questi impianti le emissioni atmosferiche non creano grossi problemi d'inquinamento, purché vi sia un buon sistema di controllo e di filtraggio dei fumi. Rispetto alla discarica i vantaggi dell'inceneritore sono la riduzione del volume dei rifiuti (90%), e di peso (75%); distruzione di buona parte del materiale organico destinato alla discarica; produzione di energia termica ed elettrica. Tra gli svantaggi sono da considerare i costi elevati di costruzione, di gestione e di manutenzione, che devono tener conto degli oneri per il trattamento dei fumi e delle ceneri. Con la *termovalorizzazione* si può convertire la spazzatura in elettricità e riscaldamento da distribuire nei quartieri vicini all'impianto. Un ulteriore possibilità è quella di utilizzare i rifiuti urbani a più alto potere calorifico come combustibile per impianti produttivi già esistenti. Secondo tale possibilità, il combustibile da rifiuti (CDR) potrebbe sostituire il combustibile tradizionale (ad esempio il carbone) in impianti di produzione di energia elettrica.Si distingue quindi dai vecchi inceneritori che si limitavano alla sola termodistruzione dei rifiuti senza produrre energia. L'impiego dei termovalorizzatori sembra essere una via di uscita dal **problema delle discariche** ormai stracolme. Pur essendo molto meno inquinanti rispetto ai vecchi inceneritori, i termovalorizzatori non eliminano in ogni caso **l'emissione di diossine** nei fumi di scarico dispersi nell'atmosfera circostante. Un fatto su cui concordano ormai tutti, costruttori, medici e tecnici.

Basti pensare che non esiste una soglia minima di sicurezza per le diossine e possono essere nocive per l'uomo a qualsiasi livello di assimilazione (US Environment Protection Agency 1994). Motivo che già di per sé è sufficiente per comprendere lo stato d'animo dei cittadini e le mobilitazioni sociali in questo senso. Secondo la legge Ronchi bisognerebbe quanto più possibile recuperare materiali ma allo stato attuale si premiano i processi che impediscono il recupero dei suddetti materiali. **La termovalorizzazione** per assolvere al suo compito in maniera ottimale **dovrebbe non precedere bensì seguire un processo accurato di raccolta differenziata** che preveda ci si informi dalle industrie sulle caratteristiche che deve avere la materia recuperata per poter essere utilizzata

come materia prima nei cicli produttivi (separando accuratamente il vetro dalla plastica, dalla carta, dall'alluminio, etc). Anche la materia destinata ai termovalorizzatori (le cosiddette ecoballe) dovrebbe avere peculiari caratteristiche tali da scongiurare quanto più possibile un eventuale rilascio di sostanze nocive nell'ambiente, ma questo passaggio purtroppo in alcuni casi non avviene ancora con la necessaria trasparenza e accortezza. **E' necessario inoltre sempre procedere ad un attento esame dell'impatto sull'ambiente specifico a cui il termovalorizzatore è destinato e sulla salute dei cittadini**, come dovrebbe avvenire per qualsiasi scelta di ordine pubblico. L'ubicazione degli impianti non è un problema di secondaria importanza. Prioritarie sono trasparenza e concertazione delle scelte con i cittadini del luogo. Solo in questo modo potrà avviarsi una concreta collaborazione tra cittadini e amministrazioni nella complessa gestione del sistema rifiuti. **In Italia i rifiuti avviati alla termovalorizzazione sono ancora pochi, il 9,3% di rifiuti inceneriti con recupero di energia nel 2006, contro il 18% della media europea nel 2006.**

6.7 Discariche

La discarica è un luogo dove vengono depositati in modo non differenziato i rifiuti solidi urbani e tutti i rifiuti provenienti dalle attività umane. La normativa italiana prevede tre tipologie di discarica:

- Discarica per rifiuti inerti;
- Discarica per rifiuti non pericolosi tra i quali RSU;
- Discarica per rifiuti pericolosi tra cui ceneri e scarti degli inceneritori;

L'Unione Europea indica che l'uso delle discariche per il rifiuto indifferenziato deve essere assolutamente evitato ed ha stabilito con la direttiva 99/31/CE, che in discarica debbano finire solo materiali a basso contenuto di carbonio organico e materiali non riciclabili, dando quindi priorità al recupero, e prevede il compostaggio ed il riciclo quali strategie primarie per lo smaltimento dei rifiuti. I residui di molti rifiuti (RSU) organici restano attivi per oltre 30 anni e attraverso i naturali processi di decomposizione anaerobica producono numerosi liquami (percolato) altamente contaminanti per il terreno e le falde acquifere. Poiché i tempi di degradabilità di molti materiali indifferenziati sono lunghissimi, tracce di queste sostanze potranno essere presenti anche fino a 1000 anni dopo la chiusura della discarica stessa: ecco perchè è importante differenziarli. Le discariche risultano nocive se il rifiuto non viene differenziato perchè si hanno emissioni in atmosfera di gas responsabili dei cambiamenti climatici tra cui CH4 E CO2, due gas serra molto attivi. Per questi gas nocivi una discarica moderna deve assicurare la presenza di sistemi di captazione in particolare il metano che può essere usato anzicchè disperso in atmosfera. Così una discarica viene progettata e gestita per accogliere un determinato volume di rifiuti che per questo hanno una vita limitata e se ben progettata non dovrebbe produrre molto inquinamento, ma purtroppo in Italia esistono numerose discariche abusive non controllate e spesso connesse con attività criminali che gestiscono il lucroso traffico illegale dei rifiuti. Il biogas è il prodotto finale della degradazione microbica della materia organica in assenza d'aria che si verifica all'interno di una discarica. Il processo si svolge in diverse fasi, durante le quali la sostanza organica viene prima ridotta in componenti minori e successivamente trasformata in biogas(gas composto prevalentemente da metano ed anidride carbonica). Il biogas è una fonte di energia pulita e rinnovabile ed analizzando che una tonnellata di rifiuti può arrivare a produrre, durante il processo di decomposizione, fino a 250 metri cubi di biogas. I processi di fermentazione dei rifiuti e

lisciviazione all'interno di una discarica producono un liquido chiamato percolato, questo viene estratto da pozzi di captazione attraverso pompe ad immersione poste all'interno dei pozzi stessi. Una corretta gestione prevede il controllo mensile del percolato estratto che viene raccolto in cisterne di stoccaggio e successivamente con periodi costantemente organizzati che possono arrivare anche a circa ogni sei mesi inviato presso impianti autorizzati al suo smaltimento. In più in una moderna discarica a protezione delle falde acquifere è previsto un sistema di monitoraggio costituito da pozzi piezometrici posti lungo il perimetro della discarica alcuni dei quali misurano il rischio di contaminazione delle falde altri posti di solito a monte chiamati bianchi misurano il livello di falda. *Per maggiori approfondimenti si rimanda il lettore al capitolo dedicato.*

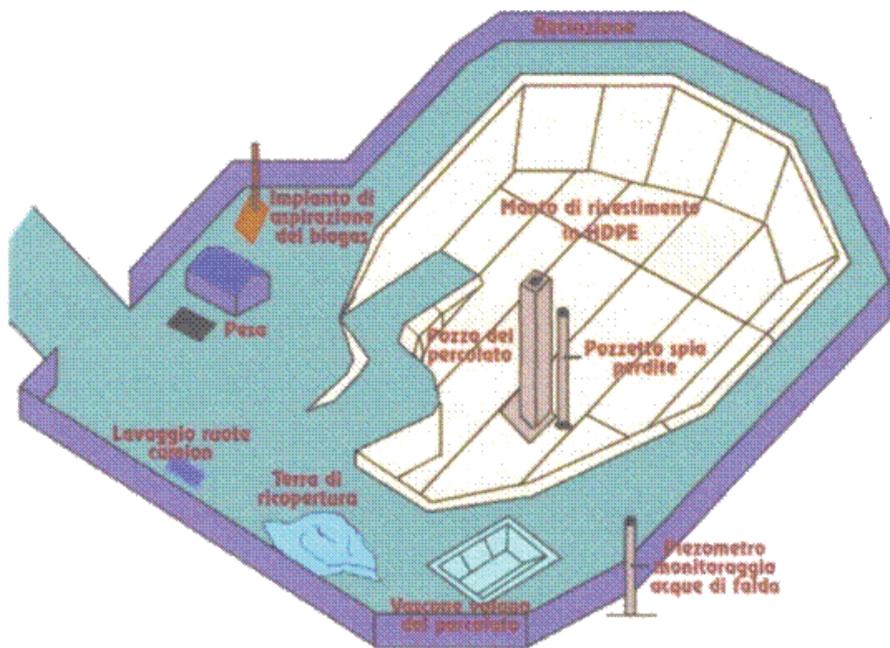



Fig. 6.19 - Rappresentazione grafica schematica di una discarica controllata)

CAPITOLO 7 - Il ruolo del CONAI

Per garantire il raggiungimento degli obiettivi globali di recupero e di riciclaggio dei rifiuti di imballaggio nonché il necessario raccordo con l'attività di raccolta differenziata effettuata dalle pubbliche amministrazioni, è stato istituito il CONAI, Consorzio Nazionale Imballaggi. Il CONAI svolge molteplici funzioni di programmazione ed indirizzo in accordo con le Regioni e con le Pubbliche Amministrazioni interessate:

- promuove accordi di programma e ne garantisce l'attuazione con le Regioni e gli Enti Locali per favorire il riciclaggio e il recupero dei rifiuti di imballaggio;
- assicura la necessaria cooperazione tra tutti i consorzi di filiera;
- garantisce il necessario raccordo tra l'amministrazione pubblica, i consorzi e gli altri operatori economici;
- organizza, in accordo con le pubbliche amministrazioni, le campagne di informazione;
- ripartisce tra i produttori e gli utilizzatori i costi della raccolta differenziata, del riciclaggio e del recupero dei rifiuti di imballaggi primari, o comunque conferiti al servizio di raccolta differenziata. Tale ripartizione dei costi viene effettuata in proporzione alla quantità totale e alla tipologia del materiale di imballaggio immesso sul mercato nazionale, al netto delle quantità di imballaggi usati riutilizzati nell'anno precedente per ciascuna tipologia di materiale.

Il sistema CONAI si basa sull'attività di sei Consorzi rappresentativi dei materiali:

- CONSORZIO NAZIONALE ACCIAIO - Consorzio Nazionale per il Riciclo ed il Recupero degli imballaggi in acciaio;
- CIAL - Consorzio Imballaggi Alluminio;
- COMIECO - Consorzio Nazionale Recupero e Riciclo degli Imballaggi a Base Cellulosica;
- RILEGNO - Consorzio Nazionale per il Recupero e il Riciclaggio degli Imballaggi in Legno;
- COREPLA - Consorzio per la Raccolta, il Riciclaggio e il Recupero dei Rifiuti di Imballaggi in Plastica;
- COREVE - Consorzio Recupero Vetro.

Tali consorzi sono specifici per tipologia di materiale e sono costituiti essenzialmente dalle imprese produttrici di imballaggi e dagli utilizzatori. I sei consorzi hanno l'obiettivo di razionalizzare ed organizzare la raccolta, il riciclaggio ed il recupero degli imballaggi usati e dei rifiuti di imballaggi conferiti al servizio pubblico, secondo criteri di efficacia, efficienza ed economicità. I mezzi finanziari per il funzionamento dei predetti Consorzi sono costituiti dai proventi delle attività e dai contributi dei soggetti partecipanti. Ciascun Consorzio mette a punto e trasmette al Consorzio Nazionale Imballaggi ed all'Osservatorio Nazionale Rifiuti un proprio Programma specifico di prevenzione che costituisce la base per l'elaborazione del Programma Generale. Ogni anno i Consorzi trasmettono al Consorzio Nazionale Imballaggi l'elenco degli associati ed una relazione sulla gestione ed i risultati conseguiti nel recupero e nel riciclo dei rifiuti di imballaggio. In tale relazione possono essere evidenziati i problemi inerenti il raggiungimento degli scopi istituzionali e le eventuali proposte di adeguamento della normativa. L'attività di ciascun Consorzio è disciplinata da un apposito statuto ed attuata da uno specifico regolamento.

7.1 CNA - Consorzio Nazionale Acciaio

Al Consorzio Nazionale Acciaio partecipano fornitori e importatori di materiale in acciaio per imballaggio, tali consorziati sono distinti in tre categorie di appartenenza:

- fabbricanti di imballaggi;
- produttori ed importatori di materiale in acciaio;
- utilizzatori che producono e riempiono imballaggi in acciaio e utilizzatori che importano
- imballaggi in acciaio pieni.

Il Consorzio Nazionale Acciaio ha l'obiettivo di promuove l'attivazione e la gestione di accordi con Enti locali, gestori del servizio e recuperatori per la raccolta differenziata sotto forma di convenzioni, assicurare il corretto conferimento da parte delle aziende, verificare i flussi di raccolta e di destinazione del materiale e sostenere, per quanto possibile, la riduzione dei rifiuti a monte. Gli imballaggi in acciaio sono tutti i manufatti in acciaio destinati al contenimento o al confezionamento di altri materiali. In particolare rientrano in questa categoria i seguenti imballaggi:

1. Scatolame per alimenti
2. Bombolette per alimenti e per prodotti destinati all'igiene personale
3. Chiusure metalliche per vasetti di vetro in genere
4. Tappi corona applicati sulle bottiglie in vetro
5. Scatole in acciaio da confezione regalo

7.2 C.I.Al - Consorzio Imballaggi Alluminio

Il Consorzio Imballaggi Alluminio raggruppa le maggiori aziende di produzione e di trasformazione di imballaggi in alluminio che coprono oltre il 95% del prodotto immesso sul mercato nazionale. Partecipano al Consorzio le imprese produttrici e gli utilizzatori di imballaggi in alluminio. Tali soggetti sono distinti in tre categorie:

- produttori e importatori di alluminio destinato alla fabbricazione di imballaggi;
- fabbricanti, trasformatori ed importatori di imballaggi vuoti in alluminio;
- utilizzatori di imballaggi in alluminio compresi quelli che provvedono direttamente alla
- produzione di imballaggi in alluminio ed al loro riempimento.

Il Consorzio è stato costituito per il raggiungimento degli obiettivi di riciclaggio e di recupero dei rifiuti di imballaggi in alluminio (immessi sul mercato nazionale) con particolare riguardo per quelli conferiti al servizio pubblico e provenienti dalla raccolta differenziata. Il Consorzio svolge le proprie attività in stretto collegamento ed in costante collaborazione con l'Osservatorio Nazionale sui Rifiuti e con il CONAI ai quali trasmette un proprio Programma Specifico di Prevenzione.
Gli imballaggi in alluminio possono essere rigidi, semirigidi, flessibili e accoppiati e consistono essenzialmente in:

1. Lattine per bevande
2. Scatole per alimenti
3. Bombole aerosol
4. Chiusure per bottiglie e vasi
5. Tubetti
6. Vaschette
7. Foglio sottile

7.3 COMIECO - Consorzio Nazionale Recupero e Riciclo degli Imballaggi a Base Cellulosica

A questo Consorzio aderiscono circa 3.500 aziende, rappresentate principalmente dalle cartiere, dagli importatori di carta per imballaggi e dai fabbricanti di imballaggi in carta, cartone e cartoncino, sacchi e shopper. La finalità di Comieco è il riciclo e il recupero energetico degli imballaggi di origine cellulosica, per garantire il raggiungimento degli obiettivi previsti dalla normativa vigente. I Soci di Comieco sono produttori, importatori, trasformatori di materiale e di imballaggi cellulosici e recuperatori. Il Consorzio stipula con le Amministrazioni locali apposite convenzioni per la raccolta differenziata, e gestisce volontariamente, d'intesa con CONAI, il sistema della raccolta e dell'avvio a riciclo di carta e cartone provenienti dalla raccolta comunale anche attraverso la rete di piattaforme dislocate su tutto il territorio nazionale. Il sistema è finanziato, per quanto concerne la raccolta differenziata organizzata dai Comuni, con il contributo ambientale, che dal 1° ottobre 1998 è applicato in fattura su tutti gli imballaggi immessi al consumo in Italia.
Nell'ambito delle convenzioni stipulate con Enti e Comuni, Comieco offre un utile supporto per la realizzazione di campagne di sensibilizzazione dei cittadini, ad integrazione dei corrispettivi economici riconosciuti per il servizio di raccolta. Il Consorzio attiva anche campagne nazionali di promozione della raccolta differenziata e di riciclo nonché di valorizzazione dell'uso di carta, cartone e cartoncino. Comieco promuove, infine, un marchio ecologico registrato, da utilizzare sui singoli imballaggi, per certificare l'appartenenza al sistema nazionale.

7.4 Rilegno - Consorzio Nazionale per il Recupero e il Riciclaggio degli Imballaggi in Legno.

Al Consorzio aderiscono circa 2.200 aziende fra cui fornitori di materiali, fabbricanti di imballaggi ortofrutticoli, di pallet e di imballaggi industriali, utilizzatori che importano imballaggi in legno pieni, utilizzatori che provvedono direttamente sia alla produzione sia al riempimento, tutti gli Enti e le imprese che riciclano rifiuti di imballaggio in legno. In collaborazione con il CONAI, Rilegno coordina e promuove la raccolta, il recupero e il riciclaggio dei rifiuti di imballaggio di legno. La gestione del sistema di raccolta degli imballaggi legnosi è regolata attraverso la stipula di apposite convenzioni con aziende private o pubbliche.

7.5 CO.RE.PLA. – Consorzio reciclo plastica

Il Consorzio Nazionale per la Raccolta, il Riciclaggio ed il Recupero dei Rifiuti di Imballaggi in Plastica conta più di 2.100 aziende associate ed è il più grande fra i Consorzi del settore in Italia e il secondo in Europa. Aderiscono al Consorzio produttori e importatori di materie plastiche per imballaggio, utilizzatori che fabbricano e riempiono imballaggi in plastica, utilizzatori che importano imballaggi in plastica pieni e riciclatori di rifiuti di imballaggi in plastica. Il servizio di raccolta differenziata dei rifiuti di imballaggi in plastica é stato avviato in oltre 6.500 Comuni italiani, la popolazione coinvolta sfiora il 90%, valore che si conferma di eccellenza a livello europeo. Compito del Corepla é l'estensione dell'attività di raccolta, recupero e riciclo alla maggior parte degli imballaggi in plastica, oltre naturalmente ai contenitori in plastica per liquidi già attiva fin dal 1991 (con l'ex Consorzio Replastic). Il Consorzio promuove e sostiene attivamente la rete di centri di conferimento e di selezione, con l'obiettivo di rendere sempre più agevole e meno dispendioso il passaggio del materiale dai Comuni e dalle aziende che effettuano la raccolta differenziata alle imprese che selezionano, trasformano e valorizzano i rifiuti di imballaggi in plastica.

7.6 CO.RE.VE. – Consorzio Recupero Vetro

Il Consorzio per il Recupero del Vetro ha per scopo il raggiungimento degli obiettivi di riciclo e di recupero dei rifiuti di imballaggio in vetro prodotti sul territorio nazionale. Al Coreve, cui aderiscono circa 100 imprese, che costituiscono il 100% del mercato, partecipano produttori e importatori di imballaggi in vetro, utilizzatori che producono in proprio imballaggi e provvedono al loro riempimento, nonché importatori di imballaggi in vetro pieni. Tali soggetti sono distinti in quattro categorie:

- i produttori di materiale di imballaggio in vetro;
- i produttori di imballaggi in vetro;
- gli importatori di imballaggi in vetro vuoti;
- gli utilizzatori che producono imballaggi in vetro e provvedono al loro riempimento, e gli utilizzatori che importano imballaggi pieni in vetro.

Il Consorzio, che opera all'interno del sistema CONAI, collabora con gli altri cinque Consorzi di filiera, razionalizzando, gestendo e promuovendo il ritiro dei rifiuti in vetro provenienti dalla raccolta differenziata effettuata dal servizio pubblico e predispone il Programma specifico di prevenzione che trasmette al CONAI per l'elaborazione delle linee guida da seguire nelle attività di prevenzione e recupero dei rifiuti di imballaggio in vetro. Infine garantisce l'avvio al riciclo del materiale raccolto.

7.7 Accordo quadro ANCI - CONAI

L'Accordo Quadro Anci - CONAI è stato siglato per la prima volta l'8 luglio 1999 tra il Consorzio Nazionale Imballaggi e l'Associazione Nazionale dei Comuni Italiani. L'accordo stabilisce le modalità con cui il Sistema CONAI - Consorzi di Filiera partecipa alla spesa necessaria per la raccolta dei rifiuti di imballaggio conferiti al servizio di raccolta pubblica.
Tale accordo stabilisce:

1. l'entità dei costi della raccolta differenziata dei rifiuti di imballaggio da versare ai Comuni, determinati secondo criteri di efficienza, efficacia ed economicità di gestione del servizio medesimo;
2. gli obblighi e le sanzioni posti a carico delle parti contraenti;
3. le modalità di raccolta dei rifiuti da imballaggio in relazione alle esigenze delle attività di riciclaggio e di recupero.

L'accordo è completato da cinque allegati tecnici relativi ai seguenti materiali: acciaio, alluminio, carta, legno e plastica. Ognuno di questi allegati definisce dettagli delle relative convenzioni, attraverso le quali viene data attuazione all'Accordo. Le convenzioni vengono firmate tra il relativo Consorzio di Filiera e il Comune o il gestore del servizio della raccolta differenziata da esso delegato. Il Comune che avvia la raccolta differenziata ha tre diverse opzioni con cui accedere alla convenzione:

- se esso gestisce in economia il servizio della raccolta differenziata è il soggetto deputato alla firma della convenzione;
- se esso affida in concessione il servizio della raccolta differenziata può dare delega all'azienda concessionaria a firmare la convenzione;
- se esso affida in concessione il servizio della raccolta differenziata può comunque firmare direttamente la convenzione.

La convenzione prevede che il soggetto convenzionato si impegni a consegnare i rifiuti provenienti

da raccolta differenziata al relativo Consorzio presso una piattaforma che viene prescelta in base alle esigenze di entrambi i soggetti contraenti. Parimenti il Consorzio si impegna a prendere in carico il materiale e a pagare un corrispettivo per ogni chilogrammo di materiale conferito. Il corrispettivo è funzione della qualità del materiale conferito e di eventuali prestazioni aggiuntive. La convenzione definisce inoltre altri particolari, quali le modalità di raccolta, il trattamento delle frazioni estranee, le responsabilità in merito alle campagne di comunicazione e informazione, ecc.

CAPITOLO 8 - Normativa in materia di discariche

A completezza del lavoro svolto, si è voluto dedicare il presente capitolo ad una sintetica ma esaustiva trattazione della normativa vigente in materia. Attualmente i Decreti che disciplinano la tecnica dello smaltimento dei rifiuti in discarica sono i seguenti:

- **Decreto legislativo 13 gennaio 2003 n. 36** (Attuazione della Direttiva 1999/31/CE sulle Discariche di Rifiuti);
- **Decreto ministeriale 3 agosto 2005** (Criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica ai sensi della Decisione 2003/33/CE)

8.1 D.lgs. n. 36 del 13 Gennaio 2003

Il d.lgs. 36/2003 ha introdotto una disciplina del tutto nuova in merito alla gestione delle discariche, costituendo uno spartiacque rispetto al datato decreto interministeriale del 27/7/1984, vigente fino alla sua entrata in vigore. L'inizio della sua vigenza è stato particolarmente travagliato per problematiche legate non alla costruzione delle nuove discariche, bensì legate all'adeguamento delle discariche preesistenti all'entrata in vigore della norma. Per tale ragione i governi che si sono via via succeduti nell'ultimo periodo hanno, di volta in volta, con i famosi "decreti omnibus", prorogato la data di entrata in vigore delle nuove norme, portandola addirittura al 31/12/2008.
Il presente Decreto stabilisce:

- requisiti operativi e tecnici per i rifiuti e le discariche;
- misure, procedure ed orientamenti volti a prevenire o a ridurre il più possibile le ripercussioni negative sull'ambiente, nonché i rischi per la salute umana che una discarica per rifiuti può causare durante il suo ciclo di vita.

Secondo la definizione riportata all'art. 2 la discarica è un' "area adibita allo smaltimento dei rifiuti mediante operazioni di deposito sul suolo o nel suolo, compresa la zona interna al luogo di produzione dei rifiuti adibita allo smaltimento dei medesimi da parte del produttore degli stessi, nonché qualsiasi area ove i rifiuti sono sottoposti a deposito temporaneo per più di un anno." Si ritengono esclusi da tale definizione:

- gli impianti i cui rifiuti sono scaricati in un'apposita area autorizzata in cui gli stessi sono preparati per il successivo trasporto in un impianto di recupero, trattamento o smaltimento;
- lo stoccaggio di rifiuti in attesa di recupero o trattamento per un periodo inferiore a tre anni;
- lo stoccaggio di rifiuti in attesa di smaltimento per non più di un anno.

Le discariche si dividono in tre categorie:

- discariche per rifiuti inerti;
- discariche per rifiuti non pericolosi;
- discariche per rifiuti pericolosi.

All'art. 5, il Decreto definisce inoltre delle soglie limite di conferimento di rifiuti urbani biodegradabili scegliendo come anno di riferimento quello in cui detto Decreto è entrato in vigore; per chiarezza i sopracitati valori di soglia sono stati elencati di seguito in tabella.

Tabella 8.1 - Valori soglia per il conferimento in discarica della frazione biodegradabile degli RSU

Valore di soglia (kg/abitante*anno)	***Validità temporale a partire data di entrata in vigore del decreto (anni)***
173	**5**
115	**8**
81	**15**

Secondo quanto stabilisce l'art. 6 del Decreto, i rifiuti non ammessi in discarica sono:

- ✓ i rifiuti allo stato liquido;
- ✓ i rifiuti classificati come esplosivi, comburenti ed infiammabili, ai sensi dell'allegato 1 del D.lgs. n.22 del 1997;
- ✓ rifiuti che contengono una o più sostanze corrosive classificate come R35 in concentrazione totale maggiore o uguale all'1%;
- ✓ rifiuti che contengono una o più sostanze corrosive classificate come R34 in concentrazione totale maggiore al 5%;
- ✓ rifiuti sanitari a rischio infettivo;
- ✓ rifiuti che rientrano nella categoria 14 dell'allegato G1 al D.lgs. n. 22 del 1997;
- ✓ rifiuti della produzione di principi attivi per biocidi (D.lgs. n. 174 del 25 Febbraio 2000) e per prodotti fitosanitari come definiti dal Decreto legislativo n. 194 del 17 Marzo 1995;
- ✓ materiali ad alto rischio comprese le proteine animali e i grassi fusi da essi derivati;
- ✓ rifiuti che contengono o sono contaminati da PCB (D.lgs. n. 209 del 22 Maggio 1999) in quantità superiore a 50 ppm;
- ✓ rifiuti che contengono fluidi refrigeranti contenenti CFC (clorofluorocarburi) e HCFC (alogenuri alchilinici) o rifiuti contaminati da CFC e HCFC in quantità superiore allo 0,5% in peso riferito al materiale di supporto;
- ✓ rifiuti che contengono sostanze chimiche non identificate;
- ✓ pneumatici interi fuori uso dal 16 Luglio 2003;
- ✓ rifiuti con poter calorifico inferiore maggiore di 13000 kJ/kg.

Sono al contrario ammessi in discarica le seguenti tipologie di rifiuti:

1. rifiuti solidi urbani;
2. rifiuti non pericolosi di qualsiasi altra origine che soddisfano i criteri di ammissione dei rifiuti come prevede il D.M. del 3 Agosto del 2005;
3. rifiuti pericolosi stabili e non reattivi a patto che questi soddisfino i criteri di ammissibilità definiti del Decreto di cui sopra al punto 2.

E' di fondamentale importanza che il gestore della discarica effettui sulla stessa regolari interventi di manutenzione, sorveglianza e controllo negli anni successivi alla chiusura fino a quando l'Ente territoriale di competenza non accerterà che la discarica, giunta a fine vita, non costituisce più rischio per la salute e l'ambiente. Al fine di monitorare correttamente la fase di esercizio della discarica, è altresì necessario effettuare analisi periodiche sul biogas e sul percolato, nonché sulle acque di falda al fine di accertare l'eventuale presenza di sostanze inquinanti riconducibili a spaccature del fondo della discarica. Alle fine di dimostrare che la discarica rispetta i requisiti necessari per ottenere l'autorizzazione, il gestore della stessa deve presentare all'Ente competente apposita relazione che, oltre alle informazioni sui risultati della gestione dell'impianto e dei programmi di controllo e sorveglianza, deve contenere:

- la quantità e la tipologia di rifiuti smaltiti con il relativo andamento stagionale;
- il prezzi di conferimento;

- l’andamento della produzione del percolato con indicazione delle relative procedure di trattamento;
- la quantità di biogas prodotto ed estratto e, anche in questo caso, le relative tecniche di trattamento;
- il volume occupato e capacità residua della discarica;
- i risultati dei controlli effettuati sui rifiuti conferiti ai fini della loro ammissibilità in discarica, nonché sulle matrici ambientali.

Il Decreto si completa con tutta una serie di articoli dedicati alle pratiche da presentare e alle condizioni per ottenere il rilascio dell’autorizzazione a realizzare una discarica, nonché ai contenuti di tale autorizzazione. Il capitolo successivo è dedicato all’approfondimento di quelli che sono i criteri di progettazione di una discarica nel rispetto dei requisiti previsti negli allegati al D.lgs. 36/2003.

8.2 D.M. del 3 Agosto 2005

Il presente Decreto, in linea con i principi ed i contenuti del D.lgs. 36/2003 al quale è stato dedicato il paragrafo precedente, definisce quelli che sono i criteri e le procedure perché i rifiuti possano essere ammessi in discarica. Ciò avviene solo se il rifiuto risulta conforme ai criteri di ammissibilità previsti per la tipologia di discarica dove lo stesso sarà conferito. Al fine di accertare l’ammissibilità di una data tipologia di rifiuto nella discarica di competenza, è necessario effettuare campionamenti ed analisi nel rispetto di quanto il presente Decreto prevede nell’allegato 3. Tali operazioni di campionamento possono essere effettuate esclusivamente da persone ed istituzioni indipendenti; le analisi dei campioni devono avvenire all’interno di laboratori con comprovata esperienza nel settore.

Resta a carico del produttore la caratterizzazione di base: questa deve essere effettuata, per ogni tipologia di rifiuto conferito in discarica, in corrispondenza del primo conferimento e ripetuta qualora si verifichino significative variazioni nel processo di produzione e trattamento dei rifiuti.

Qualora tale procedura accerti che le caratteristiche di base di quella data tipologia di rifiuto sono tali da soddisfare i criteri di ammissibilità per la discarica di competenza, tali rifiuti sono considerati ammissibili nella categoria corrispondente.

Alla caratterizzazione di base, segue la verifica di conformità (art. 3) al fine di stabilire se tali rifiuti “possiedono le caratteristiche della relativa categoria e se soddisfano i criteri di ammissibilità previsti dal presente decreto”. Tale verifica deve essere effettuata dal gestore dei rifiuti sulla base dei dati forniti dal produttore in fase di caratterizzazione, con la medesima frequenza della caratterizzazione di base. A tale fine il gestore utilizzerà una o più determinazioni analitiche, già impiegate per le caratterizzazione di base, comprendenti almeno un test di cessione per lotti.

Infine lo stesso gestore deve effettuare delle verifiche in loco (art. 4) sottoponendo “ogni carico di rifiuti ad ispezione prima e dopo lo scarico e controllare la documentazione attestante che il rifiuto è conforme ai criteri di ammissibilità” stabiliti dal presente decreto per la data tipologia di discarica.

Il carico di rifiuti è ammesso in discarica soltanto se risulta conforme:

- ai campioni sottoposti alla caratterizzazione di base e alla verifica di conformità;
- alla descrizione di accompagnamento.

A conclusione del paragrafo, si tiene a precisare che la presente trattazione ha voluto riportare in

maniera quanto più sintetica possibile, ma nondimeno esaustiva, i contenuti generali del decreto, lasciando, alla consultazione diretta della norma da parte del lettore, gli articoli dal 5 al 9 relativi alla definizione dei criteri di ammissibilità per ciascuna tipologia di discarica, nonché gli allegati recanti un approfondimento sulle varie procedure tecniche di caratterizzazione, campionamenti ed analisi.

CAPITOLO 9 - Criteri di progettazione di una discarica controllata per RSU secondo il D.lgs. 36/2003

9.1 Indagini preliminari

9.1.1 Scelta e valutazione del sito

Una corretta gestione del problema dello smaltimento dei rifiuti deve prendere avvio da indagini conoscitive che hanno come fine quello di individuare quei siti che, per le loro caratteristiche fisiche, igienico-sanitarie e tecnico-economiche, sono particolarmente idonei all'ubicazione di nuovi impianti di trattamento rifiuti.
Le indagini necessarie alla caratterizzazione dei siti riguardano i diversi aspetti di un territorio e vengono condotte con un livello di dettaglio e scale diverso in funzione dello stato di avanzamento dello studio. Tali indagini si distinguono in due tipologie: conoscitive e progettuali.
Le indagini condotte nella fase conoscitiva servono ad analizzare le caratteristiche del territorio nel suo complesso al fine di individuare i siti potenzialmente idonei all'ubicazione di un impianto di discarica.
La fase progettuale riguarda invece quei siti, che ritenuti potenzialmente idonei sulla base dei risultati ottenuti dalle indagini conoscitive, possono diventare oggetto di uno specifico progetto esecutivo.

9.1.1.1 INDAGINE DELLA FASE CONOSCITIVA

L'indagine per l'ubicazione di un nuovo impianto di discarica inizia col censimento delle arre che risultano potenzialmente idonee, escludendo via via quelle aree che risultano non idonee per cause antropiche e/o naturali. In questa fase risulta di fondamentale importanza esaminare la situazione esistente in materia di trattamento rifiuti confrontando da un lato la domanda del servizio, dall'altro l'offerta del territorio.
Nel condurre questa tipologia di indagini, la prima fase operativa consiste nel delineare il quadro della situazione esistente attraverso il censimento, presso uffici tecnici di enti pubblici di competenza sul territorio, dei dati riguardanti:

- la struttura produttiva dell'area;
- i quantitativi di rifiuti prodotti nell'area geografica per la quale la discarica entrerà in servizio;
- lo stato dei servizi di nettezza urbana, nonché le modalità di raccolta e trasporto dei rifiuti;
- gli impianti di trattamento già in funzione e in progetto.

I risultati di questa indagine possono essere riassunti in rappresentazioni grafiche, quali la carta

- della corografia dell'area;
- dei bacini d'utenza e dell'origine dei rifiuti;
- degli impianti di trattamento esistenti o in fase di progettazione;
- destinazione urbanistica dell'area.

In merito alle dimensioni del bacino di utenza, con particolare riferimento alle distanze massime dalle zone di raccolta al punto di conferimento, si ritiene che queste debbano essere contenute nell'intervallo di 15-50 Km.
E' chiaro che la sviluppo di questa fase non può prescindere dal tenere in debita considerazione quelli che sono i vincoli di natura antropica relativa alla presenza di infrastrutture varie e di fasce di rispetto esistenti e/o in fase progettuale; queste possono riguardare:

- la distanza dai centri abitati;

- il vincolo idrogeologico;
- il vincolo sistema idrico;
- la classificazione sismica del territorio;
- la salvaguardia del paesaggio;
- le leggi ed i piani regionali.

Anche in questo caso, così come nel precedente, si può ricorrere ad una approccio di tipo cartografico riassumendo le informazioni raccolta nelle seguenti carte:

- delle zone di rispetto dai centri abitati;
- della distanza degli insediamenti dal nuovo impianto;
- delle fasce di rispetto dai punti d'acqua;
- della visibilità e dei punti di interesse;
- delle infrastrutture varie;
- delle aree soggette a vincoli antropici.

Esistono anche vincoli di tipo naturale, definiti dalle caratteristiche geologiche, idrogeologiche ed ambientali, che rendono inadatta la realizzazione della discarica nel rispetto di quanto previsto dalla normativa vigente; tali vincoli sono legati ad aree che/in cui:

- richiedono notevoli scavi nel sottosuolo;
- presentano forme di degrado dei versanti, quali frane e pendii in erosione;
- sono a diretto contatto con le acque di superficie;
- hanno un franco di sicurezza tra il fondo della vasca e la massima escursione annua del livello di falda inferiore a 1 m;
- sono soggette a rischio idrogeologico, quali erosione e valanghe;
- a causa di alti valori di precipitazione, presentano una meteorologia locale sfavorevole;
- alimentano un acquifero;
- si caratterizzano per la presenza di discontinuità tettoniche attive;
- si osserva la presenza di risorse fisiche altrimenti non sfruttabili.

Infine, individuate le aree potenzialmente idonee, si procede col selezionare, sulla base di considerazione morfologiche e di uso del suolo, i siti dove risulta tecnicamente possibile impiantare il corpo della discarica. In questa operazione, sono da preferirsi le zone improduttive o degradate, quali le cave di argilla, in quanto queste possono acquisire una nuova rivalutazione, nel contesto del piano regolatore generale, grazie ala realizzazione della discarica, dalle iniziali opere di bonifica e adeguamento fino alla chiusura e alla messa in esercizio della stessa.

9.1.1.2 INDAGINE DELLA FASE PROGETTUALE

9.1.1.2.1 Premessa

Le indagini di questa seconda fase vengono effettuate ad una scala di grande dettaglio su quella parte di territorio direttamente influenzata dalla costruzione dell'opera e che, in prima approssimazione, può essere ipotizzata in un'area di indagine di circa 2 Km di raggio intorno alla discarica. Gli aspetti da prendere in considerazione sono più diversificati rispetto alla fase precedente, perché il quadro finale deve poter esprimere, oltre che la congruità del progetto, anche i possibili effetti ambientali ed igienico-sanitari, che tale opera apporterà in fase di costruzione, di esercizio e di chiusura. Le risultanze delle indagini che seguono servono per caratterizzare il sito e costituiscono parte integrante del progetto e dello studio per la valutazione di impatto ambientale da

allegarsi alla domanda per ottenere l'autorizzazione da parte degli organi competenti. E' per tale motivo che le indagini da svolgere in questa fase devono essere sufficientemente esaurienti e in grado di far fronte a tutte le necessità future che possono emergere e devono riguardare sia le componenti biotiche che quelle abiotiche

9.1.1.2.2 Indagini su suolo e sottosuolo

Questo tipo di indagini sono condotte allo scopo di determinare le caratteristiche geologiche, geotecniche ed idreologiche del sito, utilizzando metodi diretti ed indiretti. Le indagini indirette includono le tecniche geofisiche che non richiedono l'esecuzione di scavi e sondaggi; è chiaro che sulla base delle caratteristiche geologiche del sito si sceglierà il tipo di indagine più appropriata. Le indagini dirette si riferiscono invece ai rilievi di campagna, agli scavi, ai sondaggi meccanici e alle trincee; queste ultime permettono di:

- osservare e misurare le condizioni geologiche reali del sito;
- ricostruire la successione stratigrafica degli orizzonti litologici, la loro profondità, il loro spessore;
- effettuare prove in sito;
- eseguire test per la determinazione dei parametri idrogeobiologici degli acquiferi interessati;
- prelevare campioni dal sottosuolo da sottoporre a prove di laboratorio per la determinazione delle relative proprietà geotecniche.

Le indagini su suolo e sottosuolo, a livello operativo, si articolano nelle seguenti fasi:

1. censimento cartografia tecnica e tematica ufficiale, delle riprese aerofotogrammetriche, dei lavori tecnici eseguiti da enti pubblici e privati, delle stratigrafie di sondaggi esistenti presso gli uffici tecnici Comuni, delle Province, del Genio Civile, consorzi irrigui e di bonifica;
2. accertamento delle caratteristiche geologiche, morfologiche e pedologiche dei terreni mediante analisi di foto aeree e rilievi diretti di campagna;
3. all'eventuale determinazione dell'estensione e spessore degli orizzonti più superficiali del sottosuolo mediante rilievi geofisici indiretti;
4. diagnosi diretta della litografia del sottosuolo mediante sondaggi meccanici che possono essere effettuati con tecniche diverse in funzione della profondità e dei litotipi da attraversare;
5. esecuzione di prove in situ per la determinazione delle proprietà meccaniche dei terreni;
6. determinazione dei parametri idrogeologici dei terreni acquiferi;
7. prelievo di campioni per la determinazione delle caratteristiche geotecniche del terreno.

Al fine di dare un maggior grado di dettaglio alla presente trattazione e rendere la stessa quanto più chiara possibile agli occhi del lettore, si è voluto entrare nel merito, in maniera sintetica ma nondimeno esaustiva, delle indagini dirette ed indirette.

9.1.1.2.2.1 INDAGINI DIRETTE: I SONDAGGI MECCANICI

Gli obiettivi di un programma di sondaggi possono variare anche di molto in base alla complessità della geologia del sottosuolo da investigare, della variabilità stagionale delle condizioni idrogeologiche e delle informazioni già disponibili. Da un punto di vista prettamente operativo, i nuovi sondaggi vanno ubicati in posizioni strategiche in base alla risultanze emerse dal censimento delle stratigrafie esistenti, in modo da chiarire i punti di difficile interpretazione. La profondità alla

quale spingere i sondaggi è strettamente legata alle caratteristiche specifiche del sottosuolo e del sito; i sondaggi dovrebbero comunque essere estesi almeno fino al raggiungimento del primo livello impermeabile significativo o comunque di qualche metro oltre la superficie piezometrica principale. Nei casi in cui tale superficie piezometrica risulti ad una profondità superiore ai 20 m dal progettato fondo della vasca non è necessario raggiungerla con le perforazioni ma basta semplicemente effettuare misure di permeabilità dei livelli litologici dello strato insaturo. Le coordinate topografiche dei sondaggi e delle testate dei piezometri installati devono essere rilevate mediante apposita livellazione plano-altimetrica in modo da poterne registrare l'esatta ubicazione su una cartografia di riferimento e disporre di un sistema di riferimento al quale riportare tutte le misure dei livelli piezometrici e di posizionamento di eventuali falde acquifere inquinante. I sondaggi vengono in genere effettuati con macchine sondatrici a rotazione e a percussione a carotaggio continuo, con diametro minimo di 100 mm, fino ad una profondità dal piano campagna che dipende dalle esigenze e caratteristiche specifiche dell'area. Di seguito una tabella recante i metodi di perforazione per specifiche tipologie di terreno.

Tabella 9.1 - Indagine in sito e prove di laboratorio

Finalità	Mezzi di indagine	
	Diretti	Indiretti
Profilo stratigrafico	– pozzi – trincee – cunicoli – fori di sondaggio	– indagini geofisiche[a]
	In laboratorio	In sito
Proprietà fisico-meccaniche dei terreni	– prove su campioni indisturbati	– prove penetrometriche statiche e dinamiche – prove scissometriche – prove pressiometriche – prove di carico su piastra – indagini geofisiche
Misura della pressione neutra	– piezometri	
	In laboratorio	In sito
Permeabilità dei terreni	– prove su campioni indisturbati	– prove di emungimento da pozzi – prove con immissione di acqua in pozzetti o in fori di sondaggio
Verifica dell'impiego di procedimenti tecnologici	– palificate (prove di carico su pali isolati) – impermeabilizzazione (piezometri, prove di permeabilità) – consolidamenti (misura delle proprietà meccaniche mediante prove *in situ*)	

[a] I risultati delle indagini geofisiche dovranno sempre essere tarati mediante scavi o perforazioni di sondaggio.

Fonte: Sonia Gervasoni – Discariche Controllate – HOEPLI 2004

Ad ogni cambiamento litologico significativo, con particolare riguardo ai primi 10 m, deve essere prelevato un campione di terreno, possibilmente indisturbato, e verificata l'eventuale presenza di falde sospese. In fase di approntamento del programma di sondaggi si deve inoltre verificare l'eventuale nell'area di un pozzo adatto all'effettuazione di una prova di emunzione e risalita al fine di determinare i parametri idrogeologici della falda; qualora non fosse disponibile alcun pozzo con

le caratteristiche richieste, uno dei sondaggi programmati dovrà essere effettuato anche con questa finalità nel luogo e secondo le dimensioni e profondità più opportune.
Ai fini dell'installazione di un pozzo di controllo, antecedente l'installazione del piezometro, si procede alla cementazione del fondo del foro per non trasformare il sondaggio stesso in una direzione preferenziale di flusso verso le falde più profonde e alla collocazione di uno strato di ghiaietto in prossimità dei livelli forati delle finestrature per agevolare il flusso dell'acqua.
Nei sondaggi che si riterranno significativi, per la loro collocazione rispetto al perimetro della discarica, verranno pertanto installati dei tubi piezometrici di lunghezza e diametro adeguati per il controllo del franco tra la soggiacenza della massima escursione della superficie piezometrica ed il fondo della discarica stessa, oltre che al prelievo di campioni per la verifica della qualità dell'acqua nella falda.

9.1.1.2.2.2 INDAGINI INDIRETTE: RILIEVI GEOFISICI

L'indagine geofisica seppur è da considerarsi solamente integrativa di quella geologica condotta con sondaggi meccanici, presenta il grande vantaggio legato al fatto che, nei settori ove si hanno dati sicuri sulla struttura geologica, è possibile con poca spesa estendere tali conoscenze anche ad aree comprese fra un settore e l'altro. I metodi più utilizzati riguardano le prospezioni geoelettriche, sismiche, gravimetriche, radar e magnetiche che di seguito verranno brevemente discusse.
Uno dei procedimenti più utilizzati per la prospezione elettrica consiste nei cosiddetti sondaggi elettrici verticali (SEV) la cui interpretazione consente di individuare correttamente l'andamento della superficie limite di corpi particolarmente conduttivi o particolarmente resistivi, purché questi abbiamo un certo spessore e si trovino intercalati a livelli di resistività marcatamente differente tra loro. I metodi di prospezione basati sulla rifrazione sismica sono in genere più costosi di quelli appena definiti e vengono utilizzati nei casi in cui i terreni da analizzare non presentano differenze di resistività ma rivelano differenze di compattezza e quindi di velocità di propagazione delle onde prodotte con esplosioni artificiali. Le indagini gravimetriche si basano sulla misura delle differenze di accelerazione di gravità misurata nei vari punti della superficie terrestre ed i valori teorici relativi ad una ellissoide di rotazione a densità omogenea. L'analisi di tali differenze, comunemente definite "anomalie gravimetriche", permette di rivelare la presenza di orizzonti litologici ad alta densità, rifiuti sepolti e superfici di passaggio tra la terra compatta e quella smossa.
I sondaggi radar si basano sul rilievo di onde radio ad alta frequenza e vengono utilizzati per individuare oggetti sotterrati, superfici tra suoli indisturbati e suoli rimossi, cavità in cui sono stati riposti materiali di rifiuto, sacche di inquinanti o zone intrise di percolato.
Infine i sondaggi magnetici rivelano i disturbi del campo magnetico terrestre dovuti alla presenza di corpi naturali o artificiali metallici.

9.1.1.2.3 Indagini su acque sotterranee

Una realistica ricostruzione del modello concettuale idrodinamico delle falde presenti nel sottosuolo dell'area oggetto di studio, ossia eventualmente destinata ad accogliere un impianto discarica, è della massima importanza non solo in fase di raccolta di informazioni da allegare alla richiesta di autorizzazione del progetto, ma anche per rendere più tempestivi ed efficaci gli interventi di bonifica e ripristino ambientale, qualora si verificasse un eventuale inquinamento delle acque a causa della fuoriuscita del percolato.

L'indagine ha inizio col censimento delle sorgenti e dei pozzi per acqua presenti sia a monte che a valle dell'opera, definendone l'ubicazione topografica, lo stato di funzionamento, le profondità alle quali si trovano le finestrature, la soggicenza dei livelli statici e dinamici delle superfici piezometriche, le stratigrafie e la destinazione d'uso dell'acqua emunta.
Al fine di studiare, monitorare e tutelare le acque sotterranee, si rende di fondamentale importanza condurre una campagna di misura dei livelli predisposta al fine di allestire una carta delle isopiezometriche che evidenzi:

- le principali direzioni del flusso idrico;
- i gradienti idraulici;
- la soggiacenza della falda freatica dal piano campagna;
- le relazioni tra l'acqua di falda e quella di superficie.

Particolare attenzione deve essere posta alla verifica del franco si soggiacenza del pelo libero della falda freatica e della superficie piezometrica della falda artesiana rispetto al fondo della discarica.

9.1.1.2.4 Indagini sulle acque di superficie

Lo studio del sistema idrografico di superficie deve precisare l'andamento della rete di drenaggio naturale, fatta da sorgenti, corsi d'acqua e laghi, e artificiale (canali ed opere di captazione) rispetto all'ubicazione della discarica e dei suoi rapporti con le acque di falda.
Tale tipologia di indagine è articolata nelle seguenti fasi principali:

1. verifica che l'opera in progetto si a distanza di sicurezza da corsi d'acqua e fuori dalla aree di inondazione e/o erosione;
2. verifica che il progetto sia fuori dalla fascia di rispetto dei punti di prelievo di acqua destinata ad uso potabile;
3. valutazione dei volumi di acqua di ruscellamento che potrebbe fluire al sito e dal sito, elaborando i dati di precipitazione;
4. valutazione delle acque pre-discarica quale valore di riferimento, in base ai valori limite definiti dalla normativa vigente in materia

9.1.1.2.5 Indagini sul comparto atmosferico

Tale indagini riguardano gli aspetti meteorologici e climatici, nonché quelli relativi alla qualità del'aria nel sito dove sarà ubicato il corpo della discarica. Alle condizioni climatiche dell'area che ospita l'impianto, si perviene tramite elaborazioni delle serie storiche, rilevate per un periodo di almeno 20 anni, delle misure relative ai principali parametri meteo climatici quali precipitazioni, temperature e direzione dei venti, pressione, umidità dell'aria, ecc. Queste indagini rivestono un ruolo importantissimo ai fini della progettazione di una discarica in quanto i volumi annui complessivi di pioggia, nonché l'umidità dell'aria, hanno un'incidenza sulle quantità di percolato prodotto e la direzione del vento ed i valori di pressione incidono sulla diffusione degli odori e del biogas in direzione dei diversi quadranti intorno alla discarica.

9.2 La fase di progettazione della discarica

9.2.1 Introduzione

Nella concezione attuale la discarica controllata è un impianto di smaltimento dei rifiuti nel quale la

materia organica viene mineralizzata ad opera principalmente dei batteri anaerobici, con produzione di percolati e biogas, la cui diffusione nell'ambiente circostante sarebbe causa di inquinamento di comparti quali aria, acqua e suolo.
Una discarica controllata può essere quindi considerata come un reattore in cui da un lato entrano rifiuti e acqua e dall'altro escono i prodotti derivanti dai processi biologici e fisico-chimici che si innescano all'interno del "reattore" per effetto della componente organica presente nei rifiuti solidi urbani.

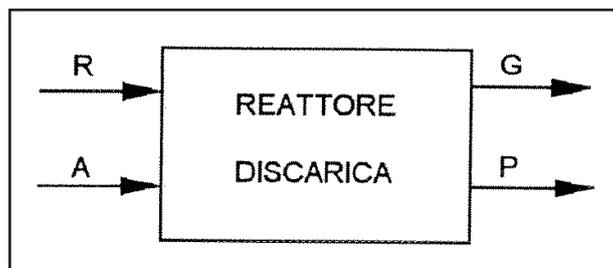



Fig.9.1 - Discarica come reattore

A seguito delle risultanze emerse dalla indagini preliminari condotte, nella realizzazione di una discarica vengono applicate soluzioni tecniche e progettuali in parte definite dalla normativa vigente in materia ed in parte entrate nell'uso in base all'esperienza sviluppatasi negli ultimi anni. In particolare vengono prese in considerazione:

- la stabilità delle strutture di contenimento;
- la barriere di difesa ambientale finalizzate ad evitare dispersioni dei prodotti della decomposizione;
- le modalità di esercizio atte a facilitare i processi di mineralizzazione ed inertizzazione dei rifiuti;
- i sistemi di monitoraggio dell'integrità delle strutture e della qualità dell'ambiente circostante;
- le attività di sistemazione finale e recupero dell'area.

Il presente paragrafo è dedicato alla trattazione, quanto più esaustiva possibile:

- dei criteri generali di progettazione;
- dell'attività di sistemazione finale e recupero dell'area;
- dell'attività gestionale;
- dei problemi di stabilità;
- dei problemi legati alla circolazione dei fluidi.

9.2.2 Criteri generali di progettazione

In funzione delle caratteristiche geomorfologiche ed idrogeologiche del sito prescelto vengono realizzati sostanzialmente tre tipologie di discarica: in avvallamento, in rilevato e a ridosso di un pendio. Le discariche in avvallamento sono realizzate per riempimento di vecchie cave dismesse; sono da preferirsi quelle scavate in materiali argillosi, anche se nella pratica quotidiana si utilizzano maggiormente quelle scavate in materiali sabbioso-ghiaiosi per le grandi volumetrie che mettono a disposizione, senza bisogno di ulteriori sbancamenti di materiali. Problemi specifici di questo tipo di impianto riguardano la stabilità delle scarpate modellate in materiali sciolti e la soggiacenza del pelo libero della falda rispetto al piano di scavo; per tale motivo infatti l'attività di prelievo di queste cave viene sospesa solo al raggiungimento della falda. E' altresì importante precisare che, nel

caso di terreni ghiaioso-sabbiosi, una realizzazione a regola d'arte dell'impianto, che non abbia cioè ripercussioni negative sull'ambiente, impone una particolare attenzione alle tecniche di impermeabilizzazione del fondo e delle pareti. Le discariche in rilevato poggiano a livello del piano campagna e si sviluppano in altezza fino al raggiungimento di quote che, comunque, sono funzione delle dimensioni della base di appoggio. Rimangono l'unica soluzione possibile nel caso di siti con esigua soggiacenza della falda. Infine, le discariche a ridosso di pendii si realizzano per riempimento di squarci aperti lungo i versanti dovuti a cave in roccia, aree calanchive o impluvi. Sono spesso l'unica soluzione possibile nelle zone di collina e montagna, dove le poche aree pianeggianti di fondovalle risultano già completamente urbanizzate o sedi dell'unica falda utilizzabile per uso potabile. Questo è il tipo di discarica più delicato da realizzarsi per i notevoli problemi geotecnici che comporta in ordine alla stabilità dei versanti, del terreno di fondazione, dei rifiuti messi a dimora e dei materiali di copertura, nonché all'allontanamento delle acque superficiali. Particolare attenzione, durante la fase di indagine, deve essere posta alle caratteristiche geometriche degli strati del sottosuolo, alle caratteristiche litologiche dei terreni e al regime idrico sia superficiale che profondo delle acque.

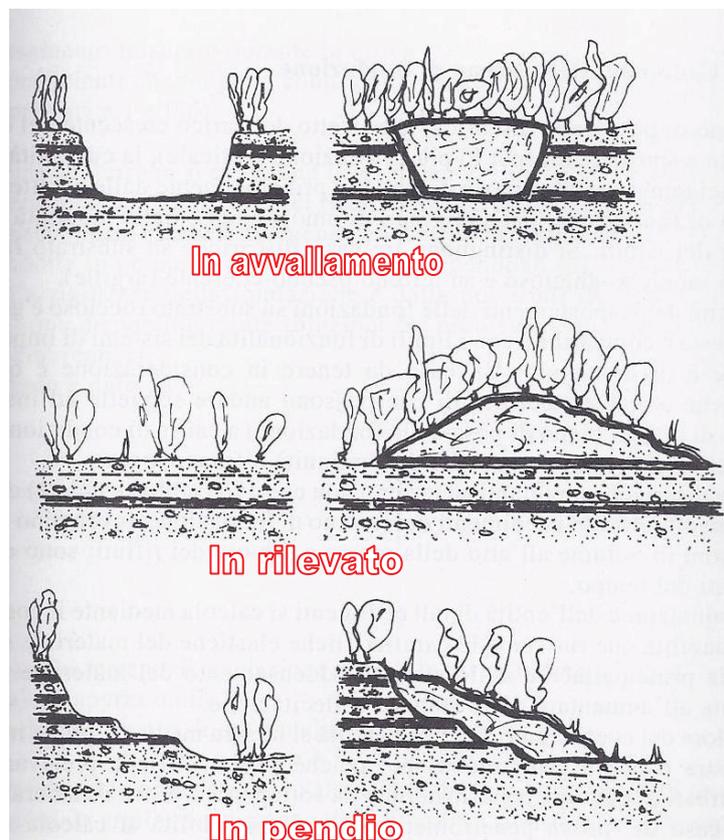



Fig.9.2 - Tipologie di impianti di discarica
Fonte: Sonia Gervasoni – Discariche Controllate – HOEPLI 2004

9.2.3 Problemi di stabilità

Secondo la normativa italiana, per tutti i tipi di discariche devono essere effettuate indagini geologiche sul suolo e nel sottosuolo atte a definire il grado di stabilità del substrato. Tali indagini nascono all'uopo di prevenire rischi di franamento delle pareti e cedimenti differenziali del piano di appoggio della discarica, che potrebbero provocare alterazioni ai sistemi di sicurezza e di

impermeabilizzazione e deformazione delle opere idrauliche realizzate per il drenaggio delle acque meteoriche e del percolato.
Obiettivi specifici di tali indagini sono pertanto la stabilità del terreno di fondazione, la stabilità dei versanti e la stabilità dell'ammasso dei rifiuti.

9.2.3.1 CEDIMENTI DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Il terreno di posa di una discarica, per effetto del carico crescente dei rifiuti, sarà soggetto a spostamenti, principalmente in direzione verticale, la cui entità e distribuzione nel tempo e nello spazio dipendono principalmente dalle caratteristiche del terreno di fondazione, dal suo grado di omogeneità e dalle modalità di messa a dimora dei rifiuti. A tale proposito si distinguono tre possibili casi di terreni di fondazione:

- roccioso;
- sabbioso-ghiaioso;
- pseduo-coerente, ossi argilloso.

Nel primo caso, ossia di discarica su substrato roccioso, l'entità degli spostamenti delle fondazioni è generalmente modesta e compatibile con i limiti di funzionalità dei sistemi di impermeabilizzazione e drenaggio. Risulta comunque importante da tenere in debita considerazione il caso delle discariche realizzate a ridosso dei pendii che possono andare soggette ad instabilità a causa di condizioni strutturali sfavorevoli della roccia. Nelle discariche poggianti su terreno non coesivo, quali sabbie e ghiaie, con permeabilità medio-alte, i cedimenti del terreno di fondazione avvengono a seguito di variazioni di volume all'atto della messa a dimora dei rifiuti. La valutazione dell'entità di tali cedimenti si calcola attraverso il coefficiente di deformabilità che riassume le caratteristiche elastiche del materiale stesso e che dipende principalmente dallo stato di addensamento del materiale granulare e all'aumenta all'aumentare dello stato di sollecitazione. Il valore del coefficiente di permeabilità si misura mediante prove in sito, su piastra o penetrometriche, in quanto risulta difficile prelevare campioni indisturbati di questo tipo di materiale da sottoporre a prove di laboratorio.
I cedimenti del terreno si calcolano determinando l'incremento delle sollecitazioni nel terreno dovuto al carico dei rifiuti; il calcolo è condotto facendo riferimento alla teoria del semispazio elastico omogeneo ed isotropo secondo la quale le tensioni verticali indotte in punto del terreno dipendono dall'entità e forma del carico, dalla rigidezza della fondazione e dalla posizione del punto stesso.
Relativamente più complessa è la valutazione del comportamento di una fondazione in materiale argilloso: in questo caso si distinguono infatti un cedimento immediato ed un cedimento di consolidazione. Il primo avviene all'atto della deposizione dei rifiuti, mentre il secondo si innesca in maniera graduale nel tempo poiché è legato all'espulsione dell'acqua dallo scheletro solido con relativa diminuzione del volume. Ai fini del calcolo del valore del cedimento totale vale quanto visto per le fondazioni su materiale incoerente. In questo caso però il parametro di deformabilità utilizzato nei calcoli, invece che da prove in sito, è ricavato da prove di laboratorio edometriche effettuate su campioni indisturbati sottoposti a pressioni simili a quelle che il terreno avrà in condizioni di esercizio.

9.2.3.1.1 Un focus sul fenomeno della consolidazione

9.2.3.1.1.1. Introduzione

La consolidazione è quel fenomeno che si origina a partire dall'applicazione di un carico distribuito (q) su un terreno saturo. Detto carico determina un incremento della tensione geostatica costante associato all'incremento della pressione interstiziale, dovuta all'acqua presente nei vuoti del terreno.

Per una maggiore comprensione del fenomeno, si ricorda che un terreno viene detto saturo quando i vuoti sono completamente riempiti d'acqua. Ciò vuol dire che se si considera un campione di terreno, il suo volume (V_T) può essere espresso nella seguente forma: $V_T = V_S + V_W$ in cui:

- V_S è il volume della frazione solida del campione;
- V_W è il volume dell'acqua presente all'interno dei vuoti.

Il grado di saturazione di un terreno viene espresso attraverso il coefficiente di saturazione (S_R) dato dal rapporto tra il volume dell'acqua e quello dei vuoti; si ha infatti che: $S_R = V_W/V_V$.

Sulla base del valore assunto da S_R un terreno può essere definito:

- saturo, quando i vuoti sono totalmente riempiti d'acqua, ossia quando $S_R = 1$ in quanto $V_W = V_V$;
- asciutto, quando i vuoti sono privi di acqua e sono totalmente riempiti di aria. In questo caso, essendo $V_W = 0$, $S_R = 0$;
- parzialmente saturo, quando all'interno dei vuoti coesistono i due fluidi ossia l'aria e l'acqua; ciò significa che $0 < S < 1$.

Se si considera il terreno omogeneo ed isotropo, è corretto pensare che qualunque punto del terreno, a qualunque profondità risente allo stesso modo dell'azione del carico. Ciò vuol dire che, assumendo l'ipotesi di coincidenza del piano campagna col pelo libero, si ha la situazione rappresentata in figura 9.2.

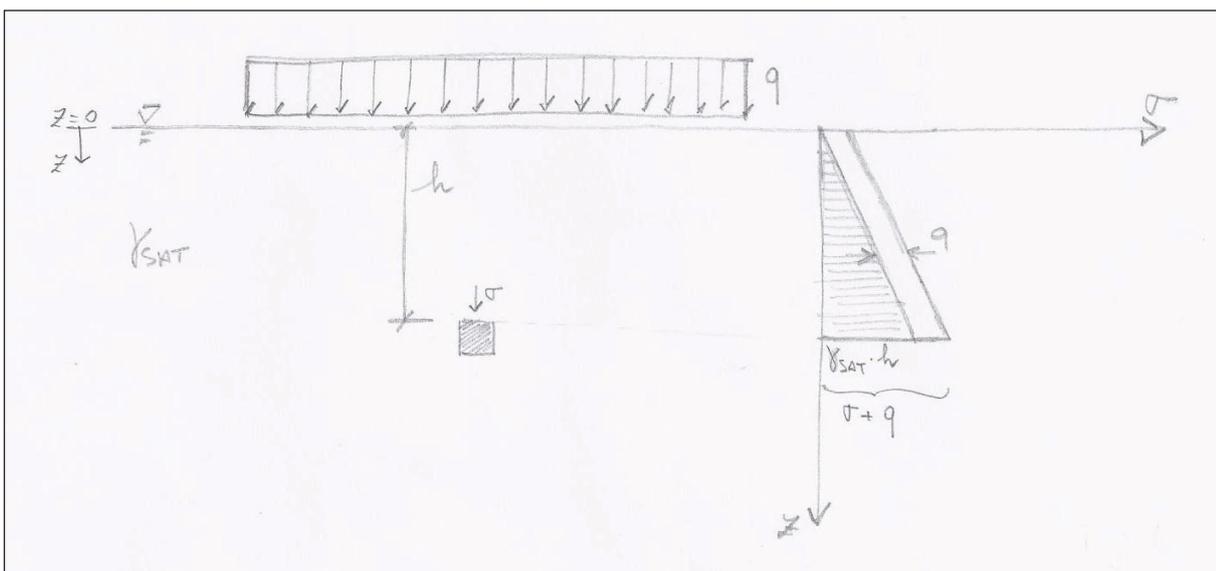



Fig. 9.3 - Andamento della tensione geostatica per effetto di un carico distribuito q applicato su un terreno che si è ipotizzato essere omogeneo ed isotropo.

Nella figura di cui sopra:

- h è la profondità misurata rispetto al piano campagna alla quale si trova l'elemento infinitesimo di terreno;

- γ_{SAT} è il peso specifico del terreno in condizioni di saturazione. Questo è calcolabile utilizzando la formula $\gamma_{SAT} = (W_W + W_S) / V_T$ in cui W_W è il peso dell'acqua contenuta nel terreno, mentre W_S è il peso del terreno stesso;
- σ è la tensione geostatica, la quale si origina per effetto del peso del terreno che sovrasta l'elemento infinitesimo, posto alla profondità h rispetto al piano campagna. La tensione geostatica, come risulta dal diagramma triangolare (di cui sopra in figura), aumenta all'aumentare della profondità: tale fenomeno è legato al fatto che all'aumentare della profondità aumenta il peso sovrastante il dato elemento infinitesimo.

La tensione geostatica viene infatti espressa come funzione della generica profondità z secondo la formula $\sigma = \sigma(z) = \gamma z$. Quest'espressione è da considerarsi applicabile nella sola ipotesi di terreno omogeneo; altrimenti è necessario applicare la formula $\sigma = \Sigma\, \gamma_i\, z_i$ con la quale si riconosce la reale condizione di eterogeneità del terreno e la sua naturale stratificazione. Nella formula infatti γ_i z_i rappresentano rispettivamente il peso specifico e lo spessore dello i-esimo strato di terreno.
In base al principio degli sforzi efficaci, σ è data dalla somma di σ' e u, che sono rispettivamente la tensione efficace dovuta alle forze interstiziali che si scambiano i grani del terreno e la tensione dovuta alla pressione interstiziale dell'acqua presente nei vuoti. È chiaro che quanto riportato in figura 9.2 è semplicemente una idealizzazione del fenomeno dato che nella realtà il terreno è eterogeneo ed anisotropo, cioè presenta caratteristiche variabili in funzione della direzione di osservazione. Ciò vuol dire che, l'applicazione di un carico distribuito q origina nel terreno una zona in cui i punti risentono maggiormente dell'azione di detto carico; questo perché la pressione interstiziale aumenta rispetto alla zona circostante. Poiché il terreno tende a ripristinare la condizione di equilibrio, come mostra la figura seguente, nel tempo si avrà una certa portata d'acqua Q in moto dalla zona a pressione maggiore verso quella a pressione minore.

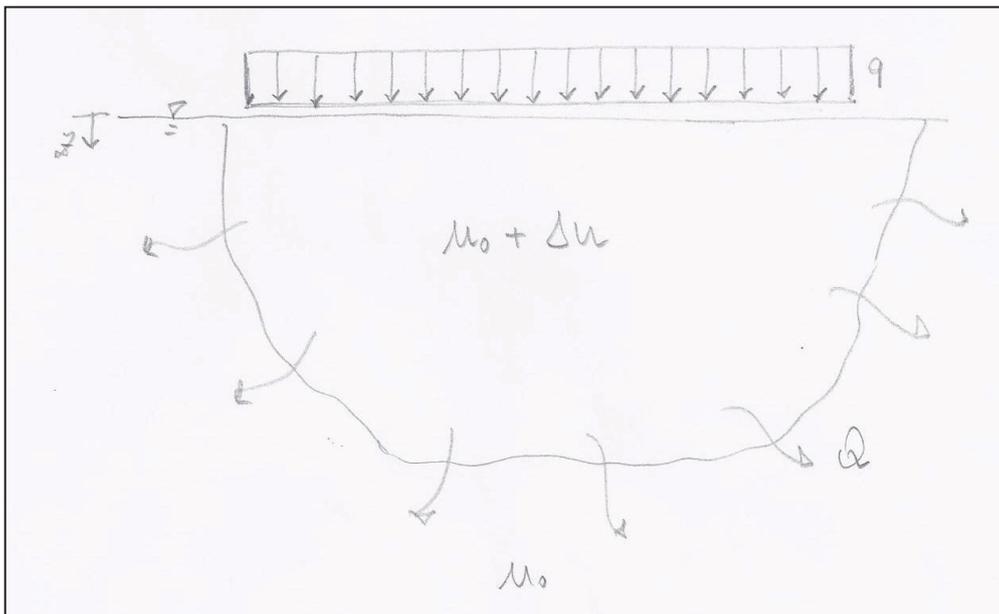



Fig. 9.4 - Creazione di una zona a pressione maggiore in un terreno eterogeneo ed anisotropo per effetto di un carico distribuito q

Ai fini di una maggiore comprensione del fenomeno trattato nel presente paragrafo, si riportano di seguito il significato di quanto indicato in figura 9.3:

- u_o è la tensione dovuta alla pressione interstiziale, a sua volta originatasi per effetto della

presenza dell'acqua nei vuoti, prima dell'applicazione del carico;

- Δu è l'incremento di detta tensione per effetto dell'applicazione del carico. Col passare del tempo, Δu tende ad annullarsi e $u_o + \Delta u$ tende a u_o; ciò significa che il terreno procede nella direzione di ripristinare l'equilibrio. È chiaro che, maggiore è il carico, maggiore sarà l'incremento di tensione e maggiore il tempo che il terreno impiega per dissiparla e così ripristinare la condizione di equilibrio.

A questo punto, è possibile distinguere due tipi di moto:

- moto stazionario, che si ha in terreni permeabili quando la portata di acqua si mantiene constante;
- moto transitorio, che si ha nei terreni impermeabili quando la portata di acqua è variabile.

Prima di entrare nel merito della consolidazione, tendo a soffermarmi brevemente su un concetto che è di fondamentale importanza nello studio del moto delle particelle d'acqua in un terreno: la permeabilità del terreno. Il coefficiente di permeabilità non è altro che una velocità che fornisce una misura della maggiore o minore facilità dell'acqua ad attraversare un dato terreno. Essa viene anche detta velocità apparente ed è generalmente espressa in centimetri su secondo. Attraverso la legge di Darcy, è possibile esprimere la velocità con cui le particelle d'acqua si muovono nel terreno: $V = Ki$ in cui K è il coefficiente di permeabilità, i è il gradiente idraulico dato dal rapporto tra il potenziale h che la particella d'acqua dissipa attraverso un generico percorso e la lunghezza l di detto percorso. Essendo i una costante, V è direttamente proporzionale a K; il che significa che maggiore è la permeabilità del terreno, maggiore è la sua attitudine a farsi attraversare dalle particelle d'acqua, nonché maggiore è la velocità con cui queste si muovono nel terreno.

Per calcolare il coefficiente di permeabilità si possono condurre o prove in laboratorio o prove in situ: le prime, pur essendo più precise sono meno rappresentative delle seconde in quanto vengono condotte su un singolo campione generalmente di 50 cm di altezza, trascurando le caratteristiche geomorfologiche del terreno dal quale esso è stato prelevato. Le prove in laboratorio sono condotte utilizzando uno strumento definito permeametro che può essere o a carico variabile o carico costante. Per quanto concerne le prove in situ, esistono due metodi per il calcolo del coefficiente di permeabilità:

- flusso non confinato (falda freatica);
- flusso confinato (falda artesiana).

In funzione del coefficiente di permeabilità K è possibile distinguere i terreni permeabili da quelli non permeabili (o, meglio detti, impermeabili); tra i primi si ricordano le sabbie e le ghiaie per le quali si hanno rispettivamente i seguenti valori di K:

- sabbie → 10^{-4} cm/sec < K_S < 10^{-2} cm/sec
- ghiaie → $K_G > 10^{-2}$ cm/sec

Tra i terreni impermeabili si ricordano invece le argille, per le quali si hanno valori di K dell'ordine di $10^{-8} – 10^{-9}$ cm/sec.

I terreni sabbiosi e ghiaiosi sono quei terreni in cui si innesca il processo di filtrazione, mentre quelli argillosi sono tipici del fenomeno di consolidazione; fenomeno a cui è dedicato il presente paragrafo.

9.2.3.1.1.2 Il fenomeno della consolidazione

Si consideri un elemento infinitesimo di terreno e si associ ad esso un sistema di riferimento

cartesiano x, y e z; il volume dell'elemento è pari a dx*dy*dz. Si indichino inoltre le portante entranti ed uscenti per ciascuna delle tre direzioni.

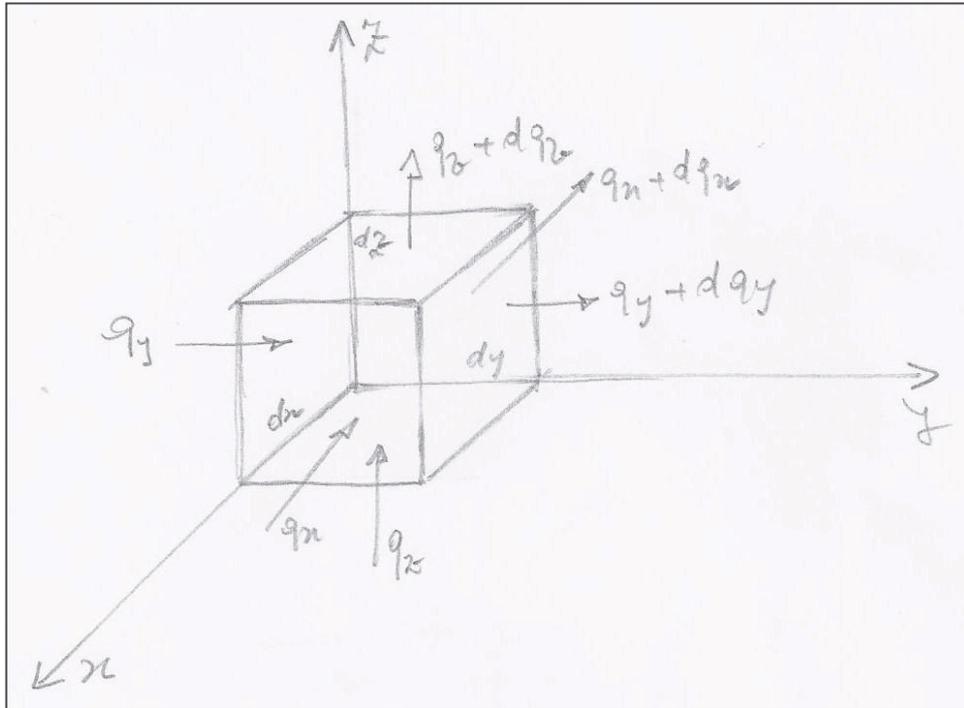



Fig. 9.5 - Elemento infinitesimo di terreno con associazione di un sistema di riferimento tridimensionale e delle portate d'acqua entranti ed uscenti.

Se il moto dell'acqua è stazionario, ossia la portata entrante eguaglia quella uscente, il carico a cui è soggetto il terreno innesca un fenomeno di filtrazione; si ha pertanto quanto espresso di seguito in forma matematica.

$$q_e = q_u$$

$$q_e = q_x + q_y + q_z$$

$$q_u = (q_x + dq_x) + (q_y + dq_y) + (q_z + dq_z)$$

$$\Rightarrow \boxed{dq_x + dq_y + dq_z = 0}$$

Considerando che:

$$q_x = K_x\left(-\frac{\partial h}{\partial x}\right) dy\, dz \qquad \Rightarrow \qquad dq_x = K_x\left(-\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}\right) dx\, dy\, dz$$

$$q_y = K_y\left(-\frac{\partial h}{\partial y}\right) dx\, dz \qquad \qquad dq_y = K_y\left(-\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}\right) dx\, dy\, dz$$

$$q_z = K_z\left(-\frac{\partial h}{\partial z}\right) dx\, dy \qquad \qquad dq_z = K_z\left(-\frac{\partial^2 h}{\partial z^2}\right) dx\, dy\, dz$$

Si ricava la seguente formula che esprime l'equazione differenziale della filtrazione:

$$K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

Se il moto è transitorio, la portata entrante è diversa di quella uscente e l'elemento infinitesimo di terreno subisce una variazione del suo volume secondo la seguente formula:

$$q_u - q_e = -\frac{\partial V}{\partial t} \qquad (1)$$

Trattandosi di un processo di consolidazione, si ha una riduzione del volume dell'elementino infinitesimo di terreno; in altre parole sia ha: $\mathbf{q_u > q_e \rightarrow (\partial V/\partial t) < 0}$.
Sostituendo i valori di q_e e q_u nell'equazione (1) si ha quanto riportato di seguito:

$$q_e = q_x + q_y + q_z$$

$$q_u = (q_x + dq_x) + (q_y + dq_y) + (q_z + dq_z)$$

$$\Rightarrow \quad dq_x + dq_y + dq_z = -\frac{\partial V}{\partial t}$$

Sostituendo in quest'ultima i valori di dq_x, dq_y e dq_z, come riportati sopra, si ricava l'equazione differenziale della consolidazione nella seguente forma:

$$\left(K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2}\right) dx\, dy\, dz = \frac{\partial V}{\partial t} \qquad (2)$$

Essendo l'elemento infinitesimo di terreni saturo, la variazione del suo volume è dovuta esclusivamente alla variazione del volume di acqua contenuto nei vuoti; si ha infatti che:

$$V = V_s + V_w \Rightarrow \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t}(V_s + V_w)$$

$$\text{ma} \quad V_s = \text{cost} \Rightarrow \frac{\partial V_s}{\partial t} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial V_w}{\partial t}$$

Calcolato il rapporto ($\partial V/\partial t$) come mostrato sopra, l'equazione differenziale della consolidazione (equazione n. 2) può essere così modificata:

$$\left(K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2}\right) dx\, dy\, dz = \frac{\partial V_w}{\partial t} \qquad (3)$$

E' noto che il volume dell'elemento infinitesimo di terreno in condizioni di saturazione può essere calcolato nel seguente modo:

$$V = V_s + V_v = V_s\left(1 + \frac{V_v}{V_s}\right)$$

$$\frac{V_v}{V_s} = e \quad (\text{indice dei vuoti})$$

$$\Rightarrow V = V_s(1+e)$$

Nell'espressione di cui sopra, è possibile ricavare V_s ed esprimere V come prodotto tra dx, dy e dz; si ottiene così l'espressione per il calcolo di V_s nella seguente forma:

$$V_s = \frac{dx\,dy\,dz}{1+e} \qquad (4)$$

Come già sopra anticipato, il coefficiente di saturazione S_R fornisce una misura del grado di saturazione di un terreno e può essere calcolato ricorrendo alla seguente formula:

$$S_R = \frac{V_w}{V_v} \Rightarrow V_w = S_R \cdot V_v$$

Moltiplicando numeratore e denominatore per V_s si ha:

$$V_w = S_R \cdot V_s \cdot \frac{V_v}{V_s}, \quad \frac{V_v}{V_s} = e \Rightarrow V_w = S_R \cdot V_s \cdot e$$

$$V_s = \frac{dx\,dy\,dz}{1+e}$$

$$\Rightarrow V_w = S_R \cdot e \, \frac{dx\,dy\,dz}{1+e}$$

in cui (dx*dy*dz)/(1+e) è una costante.
Sostituendo quest'ultima nella (3) e considerando che in condizioni di saturazione S_R è uguale ad 1, l'equazione differenziale della consolidazione si scrive come mostrato di seguito:

$$K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{1}{1+e} \frac{\partial e}{\partial t} \qquad (5)$$

Si fa osservare che solitamente il processo di consolidazione è studiato solo nella direzione verticale, in quanto:

- si arriva più facilmente alla soluzione senza compromettere l'attendibilità del risultato finale in quanto questo non si discosta molto dal valore che si otterrebbe qualora si conservasse l'approccio tridimensionale del problema;
- gli effetti delle consolidazione sono principalmente visibili in direzione verticale.

Sulla base delle considerazioni di cui sopra, l’equazione n. 5 assume la seguente forma

$$K_b \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{1}{1+e} \frac{\partial e}{\partial t}$$

e si giunge così alla teoria monodimensionale di Terzaghi, il cui approfondimento da parte del lettore è rimandato a bibliografia specifica.

9.2.3.2 STABILITÀ DEI VERSANTI

9.2.3.2.1 Introduzione al tema dei fenomeni franosi

La maggior parte delle discariche è costruita sopra il livello del suolo all’interno di argini in terra, oppure scavata al di sotto del piano campagna o in posizione tale da prevedere sia argini che scavi in funzione della topografia del luogo.
Le corrispondenti superfici risultano particolarmente soggette a rischio di instabilità a causa dei carichi e delle pressioni idrostatiche che devono contrastare in fase di costruzione, esercizio e chiusura.
I principali fattori che influenzano la franosità sono:

- fattori geologici, ovvero caratteri strutturali (faglie e fratturazioni), giacitura, scistosità, associazione e alternanza fra i litotipi, degradazione, alterazione, eventi sismici e vulcanici;
- fattori morfologici ovvero pendenza dei versanti;
- fattori idrogeologici, ovvero circolazione idrica superficiale e sotterranea, entità e distribuzione delle pressioni interstiziali;
- fattori climatici e vegetazionali, ovvero alternanza di lunghe stagioni secche e periodi di intensa e/o prolungata piovosità, disboscamenti e incendi;
- fattori antropici, ovvero scavi e riporti, disboscamenti e abbandono delle terre.

Le cause dei movimenti franosi possono essere distinte in cause strutturali o predisponenti, prevalentemente connesse ai fattori geologici, morfologici e idrogeologici, e in cause occasionali o determinanti (o scatenanti), prevalentemente connesse ai fattori climatici, vegetazionali, antropici ed al manifestarsi di eventi sismici o vulcanici.
In breve il franamento si ha infatti quando le forze dovute al peso della massa di suolo e le forze esterne, incluso il peso legato all’ammasso dei rifiuti, superano le forze di coesione e di attrito interno, più eventuali rinforzi di cui l’argine è stato dotato.
Come mostra l’immagine seguente, in un movimento franoso le parti fondamentali sono:

- la zona di distacco, che è la zona superiore della frana, con una caratteristica forma "a cucchiaio";
- l’alveo di frana, che è la porzione intermedia;
- il cumulo di frana, che è la parte terminale della frana, di forma convessa e rilevata rispetto alla superficie topografica preesistente.

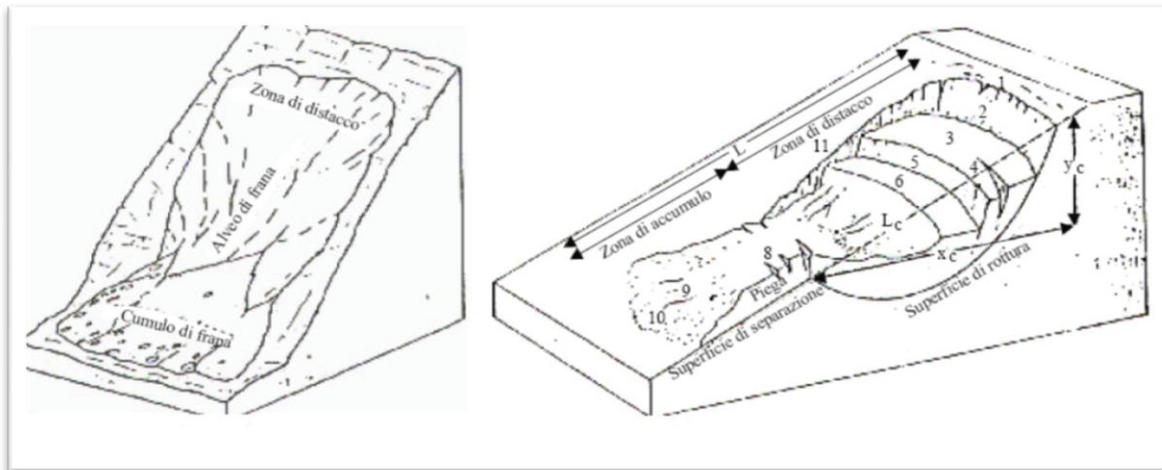



Fig. 9.6 - Nomenclatura delle parti di un movimento franoso

Esistono diversi tipi di movimento franoso:

- rotazionale lungo una superficie che si approssima ad un arco circolare, anche detto scorrimento rotazionale;
- scivolamento traslazionale su una superficie piana di lunghezza maggiore della profondità di questa rispetto al piano campagna (scorrimento traslazionale);
- crollo di blocchi dai livelli lapidei strapiombanti rispetto a sottostanti livelli più erodibili;
- ribaltamento di blocchi distaccati per effetto del gelo e del disgelo o di pressioni d'acqua nelle fessure verticali.

Lo ***scorrimento rotazionale*** avviene in terreni o rocce dotati di coesione e si sviluppa lungo una superficie generalmente concava, che si produce al momento della rottura del materiale. La parte inferiore del cumulo di frana tende ad allargarsi e dà luogo spesso a frane di colamento. Lo ***scorrimento traslazionale*** invece consiste nel movimento di masse rocciose o di terreni, lungo una superficie di discontinuità poco scabrosa e preesistente disposta a franapoggio. Le principali cause degli scorrimenti sono le acque di infiltrazione, le azioni antropiche e i terremoti.

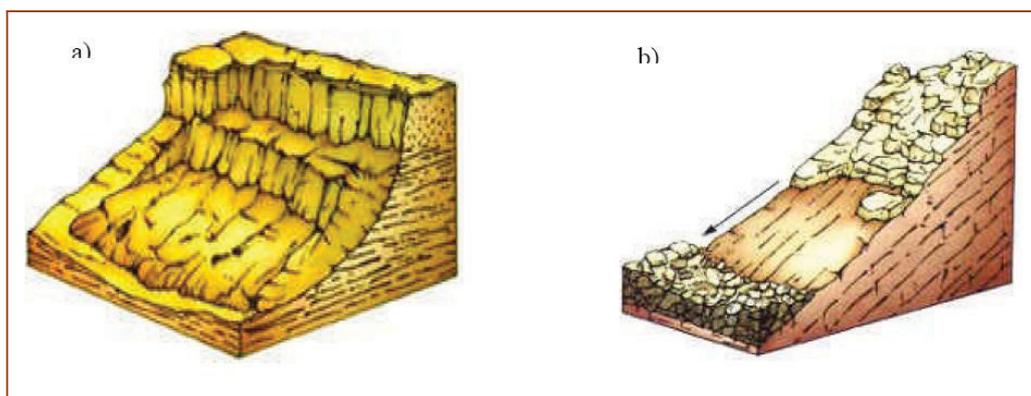



Fig. 9.7 - Fenomeni di scorrimento

I fenomeni di crollo sono caratterizzati dallo spostamento dei materiali in caduta libera e dal successivo movimento, per salti e/o rimbalzi, dei frammenti di roccia. Generalmente si verificano in versanti interessati da preesistenti discontinuità strutturali (*faglie* e *piani di stratificazione*) e sono, di norma, improvvisi con velocità di caduta dei materiali elevata. La frana di crollo avviene in pareti

sub-verticali di roccia, dalle quali si staccano blocchi di materiale che precipitano al piede della scarpata. Cause determinanti sono le escursioni termiche (gelo e disgelo), l'erosione alla base, le azioni sismiche e le azioni antropiche.

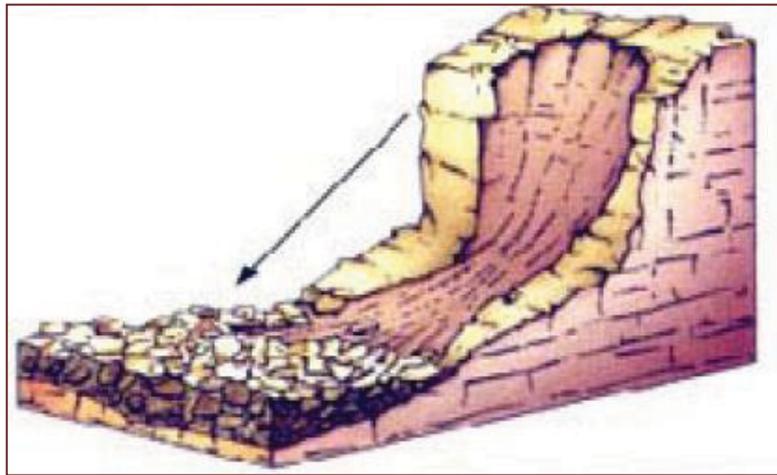



Fig. 9.8 - Frana di crollo

Infine, i ribaltamenti movimenti simili ai crolli, determinati dalle stesse cause e caratterizzati dal ribaltamento frontale del materiale che ruota intorno ad un punto al di sotto del baricentro della massa. I materiali interessati sono generalmente rocce lapidee che hanno subito intensi processi di alterazione e/o che presentano delle superfici di discontinuità (faglie o superfici di strato). Le frane per ribaltamento, di cui in figura 9.8, si verificano di norma nelle zone dove le superfici di strato risultano essere sub-verticali (a) o lungo le sponde dei corsi d'acqua per scalzamento al piede (b).

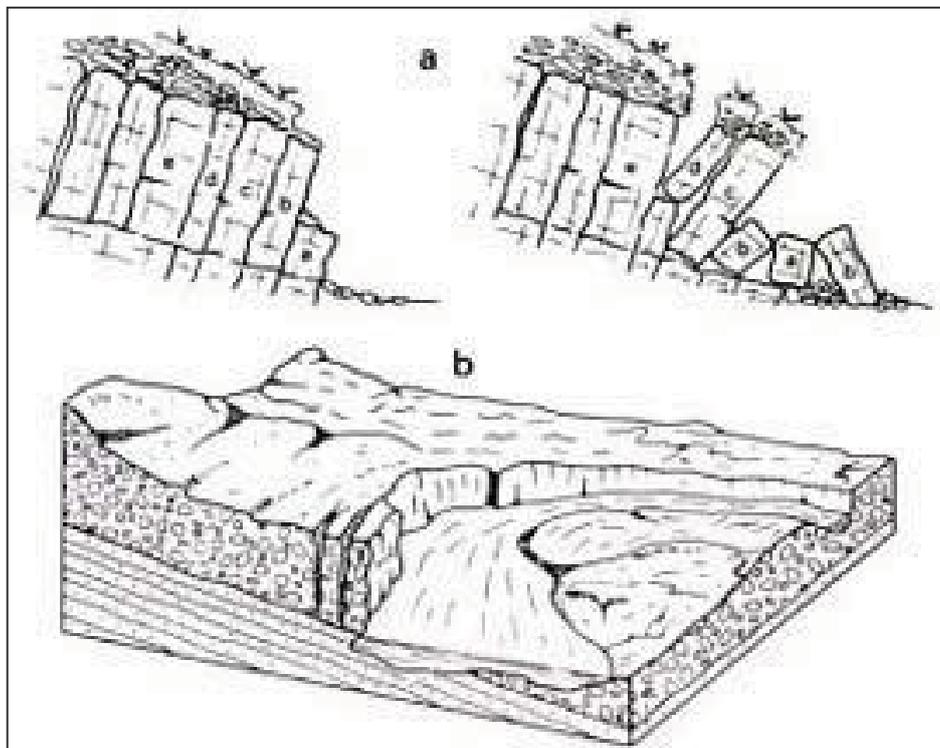



Fig. 9.9 - Ribaltamenti: a) sub-verticale; b) scalzamento al piede

Al fine di ridurre il rischio di franamento si procede:

1. alla riprofilatura generale dei versanti con angoli non superiori a 30-35°;
2. all'aumento della stabilità originale del sito mediante iniezioni di consolidamento;
3. alla predisposizione di sistemi di intercettazione delle acque prima della loro infiltrazione;
4. all'impermeabilizzazione del fondo e delle pareti;
5. al controllo del drenaggio dei percolati e del biogas.

9.2.3.2.2 Analisi di stabilità dei pendii

I metodi di analisi della stabilità dei pendii più diffusi ed utilizzati nella pratica professionale sono metodi all'equilibrio limite, che ipotizzano per il terreno un comportamento rigido-perfettamente plastico. Si immagina cioè che il terreno non si deformi fino al rag-giungimento della condizione di rottura, e che, in condizioni di rottura, la resistenza al taglio si mantenga costante e indipendente dalle deformazioni accumulate. Da tale ipotesi, fortemente semplificativa, consegue che:

a) la rottura si manifesta lungo una superficie netta di separazione tra la massa in frana e il terreno stabile;
b) la massa in frana è un blocco indeformato in moto di roto-traslazione rigida;
c) la resistenza mobilitata lungo la superficie di scorrimento in condizioni di equilibrio limite è costante nel tempo, indipendente dalle deformazioni e quindi dai movimenti della frana, e ovunque pari alla resistenza al taglio;
d) d) non è possibile determinare né le deformazioni precedenti la rottura, né l'entità dei movimenti del blocco in frana, né la velocità del fenomeno.

Inoltre la maggior parte dei metodi di verifica della stabilità dei pendii affrontano il problema ipotizzando che la superficie di scorrimento sia di forma cilindrica con direttrici ortogonali al piano considerato e così analizzando di norma una o più sezioni longitudinali del versante e trascurando gli effetti tridimensionali. Ulteriori ipotesi semplificative, diverse da un metodo all'altro, sono necessarie per rendere il problema staticamente determinato, cosicché, a parità di geometria e di caratteristiche fisico-meccaniche del terreno, il risultato dell'analisi, in termini di ***superficie di scorrimento critica*** (superficie per la quale il rapporto fra resistenza disponibile e resistenza mobilitata assume il valore minimo) e ***di coefficiente di sicurezza*** (rapporto fra resistenza disponibile e resistenza mobilitata), non è unico ma dipende dal metodo adottato. Nonostante tutto però, l'affidabilità dei risultati dipende quasi esclusivamente dalla corretta schematizzazione del fenomeno e dalla scelta dei parametri di progetto che, proprio a causa della scarsa aderenza alla realtà fisica del modello costitutivo adottato per il terreno, devono essere stabiliti con grande attenzione e consapevolezza. Occorre poi distinguere i pendii naturali dai pendii artificiali, non solo e non tanto perché i volumi in gioco e le condizioni di carico sono spesso molto diversi, o perché alcuni metodi di analisi sono più adatti allo studio della stabilità degli uni o degli altri, ma perché è generalmente molto diversa la conoscenza qualitativa e quantitativa della geometria superficiale e profonda, e delle proprietà fisico-meccaniche dei terreni. Nei ***pendii artificiali*** (ad esempio i fianchi dei rilevati stradali, degli argini o delle dighe in terra), la geometria è quasi sempre semplice e nota, i terreni sono materiali da costruzione omogenei ed hanno caratteristiche fisico-meccaniche note, poiché corrispondenti alle specifiche di capitolato, lo schema bidimensionale (problema piano) è aderente alla realtà fisica, poiché si tratta di opere con una dimensione di gran lunga prevalente rispetto alle altre due e con variazioni graduali della sezione trasversale, le condizioni di carico

possono variare rapidamente nel tempo, ad esempio per gli argini al variare del livello del fiume, o per le dighe al variare del livello di invaso. I ***pendii naturali*** invece sono di norma caratterizzati da una morfologia superficiale e profonda complessa, da una grande variabilità spaziale delle caratteristiche fisicomeccaniche dei terreni, e di norma da una meno rapida variazione delle condizioni di carico (salvo le azioni sismiche). Le indagini geologiche, idrogeologiche e geotecniche, la cui estensione ed approfondimento devono essere commisurati, in termini anche economici, all'importanza, alle finalità, all'estensione ed alla gravità del problema in studio ed alla fase di progettazione, possono solo fornire un quadro approssimato e parziale della realtà fisica. Nel caso degli ***scavi***, le condizioni sono talora, in un certo senso, intermedie, poiché la geometria superficiale è ben definita, ma il terreno di cui è costituito il pendio è naturale, e quindi può essere caratterizzato anche da forte variabilità spaziale, le condizioni di carico, legate ai tempi e ai modi di realizzazione dello scavo e di permanenza dello scavo aperto, possono variare sensibilmente nel tempo.

9.2.3.3 STABILITÀ DELL'ACCUMULO DEI RIFIUTI

Il calcolo della stabilità dell'accumulo dei rifiuti messi a dimora considera da un lato gli stessi parametri geotecnici che intervengono nella stabilità dei terreni, dall'altro parametri specifici dell'accumulo, quali:

- ✓ eterogeneità e variabilità dei rifiuti organici;
- ✓ variabilità delle caratteristiche chimiche e fisiche dei rifiuti, su tempi brevi, a seguito dei processi di biodegradazione in atto;
- ✓ presenza di pressioni interne dovute ai percolati ed al biogas;
- ✓ proprietà geotecniche dei rifiuti in sito;
- ✓ proprietà dei terreni di copertura giornaliera e finale;
- ✓ inclinazione ed altezza delle scarpate del rilevato;
- ✓ altezza dell'accumulo.

La previsione sul comportamento geomeccanico dei rifiuti è comunque difficile, in quanto non è possibile prelevare campioni sufficientemente significativi e rappresentativi di tutto l'ammasso; inoltre incide particolarmente il parametro relativo al tempo trascorso dalla messa a dimora per le variazioni sulla composizione chimico-fisica dovute ai processi in atto.

9.2.4 Problemi connessi alla circolazione dei fluidi

Il controllo della diffusione dei prodotti della biodegradazione richiede la presenza di barriere a bassa permeabilità associate ad un sistema di drenaggio dei percolati e ad un sistema di raccolta del biogas. Tali barriere consistono in livelli di terreno ad alto contenuto della frazione argillosa, già presenti in loco oppure appositamente collocati e compattati. Spesso però il materiale argilloso non è disponibile oppure, se esiste, è tale che nemmeno con la compattazione è possibile raggiungere le caratteristiche tecniche richieste per rispondere alle disposizioni di legge: in questi casi vengono utilizzate delle geomembrane sintetiche sia da sole sia in aggiunta al terreno argilloso stesso.

9.2.4.1 BARRIERE IMPERMEABILIZZANTI

A difesa delle acque sotterranee, la normativa vigente prevede, per quelle discariche che insistono su terreni ad alta permeabilità, l'impermeabilizzazione del fondo e delle pareti mediante barriere di materiali naturali e/o artificiali che presentino coefficienti di permeabilità molto bassi. Le principali barriere impermeabilizzanti sono costituite da:

- terre argillose;
- miscele sabbia-bentonite;
- miscele di cemento-sabbia;
- geomembrane sintetiche.

Le ***terre argillose***, direttamente collocate in sito, vengono compattate fino al raggiungimento dei valori di permeabilità richiesti. Durante la messa in opera, tali materiali devono essere protetti contro fenomeni di alterazione, essiccamento, erosione e franamento che portano ad una drastica diminuzione del loro potere impermeabilizzante. Al fine di contenere fenomeni di incompatibilità tra i percolati degli RSU e le argille compattate, è possibile aggiungere minerali, anche in quantità minime, che ne provocano il rigonfiamento.

Le ***miscele di sabbia-bentonite*** risultano sufficientemente adattabili alle deformazioni del substrato ma per conto sembrano mostrare alta incompatibilità chimica con i percolati prodotti dagli RSU: in funzione della composizione del percolato, si registra infatti la tendenza del calcio a sostituire il sodio nel reticolo cristallino della montmorillonite, causando così fenomeni di ritiro e sviluppo di fratture.

Le ***miscele di cemento-sabbia*** presentano in genere forti differenze di prestazioni idrauliche tra i valori dedotti in laboratorio e quelli riscontrati in sito; sono caratterizzate da rigidità eccessiva per appoggio su terreni deformabili e sono soggette a fessurazioni per ritiro o per sollecitazioni alla trazione.

Il ricorso alle ***geomembrane sintetiche*** va sempre più diffondendosi in quanto presentano il vantaggio:

- di essere più economiche dei corrispondenti quantitativi di argilla richiesti;
- di non ridurre la capacità utile disponibile;
- di agevolare la raccolta di eventuali perdite verso il pozzetto spia.

Tali membrane sono costituite da una vasta gamma di polimeri a diversa formula, quali plastiche di polipropilene, cloruro di polivinile, gomma butile, polietilene ad alta densità. Esse sono idealmente flessibili, durevoli, impermeabili ai gas ed ai percolati, caratterizzate da alta resistenza alla trazione ed inerti agli attacchi chimici e biologici. Dopo la posa devono essere protette da uno strato di materiale inerte in quanto possono andare soggette a perdita di integrità per scollatura dei teli lungo le saldature o per danneggiamento durante la messa in opera da parte di oggetti acuminati presenti nei rifiuti. Le norme tecniche prevedono, per le discariche di 1° categoria, l'impermeabilizzazione del fondo con uno strato di argilla dello spessore di 100 cm a permeabilità inferiore a 10^{-6} cm/s e per le discariche di 2° categoria uno strato di 200 cm con impermeabilità inferiore a 10^{-7} cm/s. Qualora si utilizzasse una geomembrana sintetica, questa nel caso della discarica di 2° categoria deve garantire il contenimento dei percolati per un periodo di 150 anni sul fondo e 50 anni sulle pareti.

9.2.4.1.1 Messa in opera di un telo impermeabile

Prima della messa in opera del telo della geomembrana occorre procedere alla preparazione del fondo. La superficie di posa deve avere una pendenza minima dello 0,5% per facilitare il drenaggio dei fluidi e dovrà trovarsi ad una profondità tale da assicurare sempre un franco sulla massima escursione prevedibile del pelo libero della falda freatica; tale franco è fissato in 200 cm per le discariche 2C e di 150 cm per le discariche di 1° categoria. Nel caso in cui la discarica sia stata progettata quale colma mento di una ex cava di inerti e gli scavi abbiano intercettato la falda

freatica è necessario innalzare il fondo della discarica tramite il riporto di materiale inerte fino a ristabilire tale franco.
Entrando nel merito degli strati di impermeabilizzazione, il primo livello di posa dal basso consiste in un orizzonte di argilla dello spessore di 200 cm, opportunamente compattata, fino al raggiungimento di una densità tale da assicurare un valore di permeabilità pari a 10^{-7} cm/s; caratteristica, questa, che deve essere comprovata mediante prove in sito ed in laboratorio effettuate da un Istituto autorizzato.
Al fine di ridurre al minimo il rischio di lacerazione dovuti a cedimenti differenziali del terreno di posa, si rende di fondamentale importanza disporre un secondo strato di materiale drenante, avente spessore pari a 40 cm e costituito principalmente da sabbia e ghiaia.; su questo strato verrà poi disposto il telo impermeabile. Inoltre, all'interno di tale strato sottotelo, sarà posizionata una rete di tubi micro-fessurati del diametro di 200 mm per il drenaggio delle acque e di eventuali perdite.
La messa in opera dei teli prende avvio dallo stendimento dei rotoli, privi di presaldature ed aventi dimensioni dell'ordine di 200 mm x 10 m, che vengono saldati sul posto. Le saldature vanno eseguite all'asciutto e a temperature superiori a 5 °C mediante sovrapposizione dei singoli fogli per circa 20 cm ed estrusione di un cordone dello stesso materiale fuso, previa molatura delle superfici da unire e preriscaldamento dei lembi con aria surriscaldata. Come mostra l'immagine seguente, il cordone di saldatura può essere interposto o sovrapposto ai due lembi da giuntare.

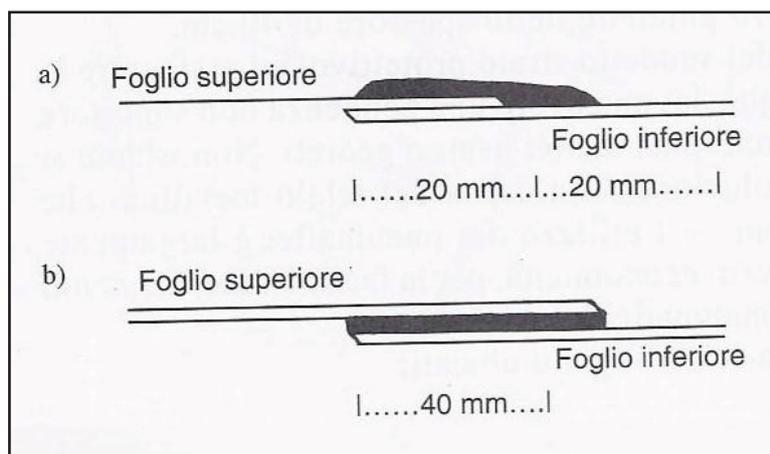



Fig. 9.10 - Tipologie di saldature dei teli sintetici: a) a cordone sovrapposto (saldatura manuale); b) a cordone interposto (saldatura automatica) – Fonte: Sonia Gervasoni – Discariche Controllate – HOEPLI 2004

Le giunzioni in corrispondenza degli spigoli risultano le parti più a rischio per eventuali scollamenti dei teli, con relativa improvvisa caduta dei valori della tenuta per mancata integrità del sistema; ecco perché necessario effettuare delle prove sulle saldature. Queste possono essere di due tipi:

- non distruttive, effettuate direttamente sull'estrusione per il 100% dell'estensione delle saldature, mediante utilizzo di ultrasuoni;
- distruttive a sfogliamento su campioni prelevati ogni 300 m di saldatura.

Di seguito si riportano due immagini relative alla posa in opera di un telo impermeabile e alla giunzione di due lembi tramite saldatura.

Fig. 9.11 - Posa in opera della bobina e stendimento del telo ad opera di una Ditta specializzata

Fig. 9.12 - Saldatura lembi in maniera automatica con mezzo idoneo

Sopra il telo, con funzione protettiva rispetto ai possibili danneggiamenti provocati dal passaggio degli automezzi per il conferimento dei rifiuti, viene steso un secondo strato drenante di sabbia e/o ghiaia dello spessore di 40 cm. Per agevolare il posizionamento del suddetto strato protettivo e al tempo stesso assicurare la stabilità delle scarpate, vengono in genere posizionati pneumatici usati o georeti; di seguito un immagine che chiarisce il concetto.

Fig. 9.13 - Posizionamento ragionato di pneumatici sui fianchi di una discarica controllata in rilevato

Nonostante si reputi più funzionale la seconda soluzione, l'utilizzo dei pneumatici è largamente entrato nell'uso quotidiano per motivi di economicità, per la facilità di reperimento e per il semplice fatto che il riutilizzo – in questo settore - dei pneumatici riduci gli impatti ambientali associati al loro smaltimento.
Nel secondo strato drenante sopratelo vengono ubicati :

- tubi micro fessurati, per il drenaggio del percolato, disposti a lisca di pesce con direzione del flusso verso il punto di maggiore profondità;
- elettrodi di energizzazione e di lettura del potenziale elettrico che fanno parte del sistema di controllo dell'integrità della geomembrana;
- sensori per la misura degli assestamenti del telo e i tubi flessibili per il passaggio del "profile gauge", il quale si presenta come un sistema di rilievo in grado di eseguire molteplici letture lungo il profilo di una sezione opportunamente scelta.

La figura seguente sintetizza la stratigrafia del fondo della discarica sopra illustrata.

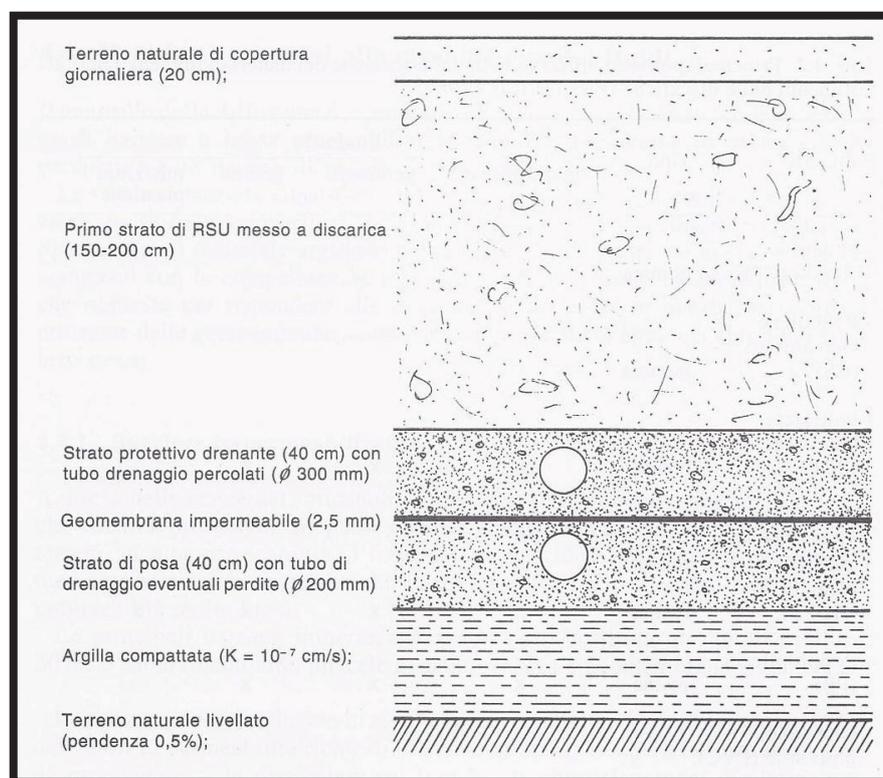



Fig. 9.14 - Messa in opera di orizzonti di impermeabilizzazione in discariche controllate per RSU - Fonte: Sonia Gervasoni – Discariche Controllate – HOEPLI 2004

9.2.4.2 PERCOLATO

9.2.4.2.1 Definizione

Il percolato è quel liquido che si origina, all'interno di un impianto discarica, dalla combinazione del processione di mineralizzazione della frazione organica presente nei rifiuti solidi urbani con infiltrazioni di acqua piovana nell'ammasso rifiuti; esso si compone principalmente di sostanze organiche, nutrienti e metalli pesanti. Il percolato non è altro che un refluo con un tenore più o

meno elevato di inquinanti organici, derivanti dai processi biologici e fisico-chimici che si innescano all'interno del cumulo dei rifiuti.
Un'analisi approfondita del percolato non può prescindere dalla individuazione di quelle che sono le sue caratteristiche quantitative e qualitative: le prime sono influenzate da fattori esterni come l'apporto idrico (meteorico, superficiale, sotterraneo) e da fattori interni come l'umidità iniziale, la produzione e consumo di acqua durante la biodegradazione dei rifiuti, da fattori progettuali come la copertura finale. Le seconde, invece, dipendono invece più strettamente dalla composizione dei rifiuti, in particolare dalla componente organica biodegradabile e dal contenuto di ione ammonio e di metalli.

9.2.4.2.2 Processo di formazione

L'ecosistema di uno scarico controllato presenta caratteristiche molto eterogenee, i microrganismi presenti interagiscono con i vari tipi di substrati disponibili e sono influenzati dai gradienti chimici dei composti organici e inorganici. Per capire al meglio i fondamenti della microbiologia e della biochimica che governano la decomposizione del rifiuto è bene riuscire ad interpretare e distinguere le diverse fasi in cui la decomposizione stessa si esplica. Sebbene la prima fase di stabilizzazione del rifiuto avvenga in ambiente aerobico, è la digestione anaerobica che domina il processo sia nella durata sia per il ruolo fondamentale che esercita nel processo di biostabilizzazione della matrice organica del rifiuto. Ancor prima che la cella della discarica sia completa, il rifiuto solido umido riceve svariati inoculi di batteri, attinomiceti e funghi, tramite l'apporto di idrometeore o la deposizione delle sostanze aerodisperse. Questi organismi si sviluppano con una velocità di reazione che dipende dalle condizioni ambientali già presenti nella discarica. I fattori che influenzano la colonizzazione del substrato organico sono:

- **dal tasso di umidità;**
- **dalla temperatura;**
- **dallo stato nutrizionale;**
- **dal pH;**
- **dalla massa volumica del materiale presente.**

Il processo di biostabilizzazione dei rifiuti è sintetizzabile nei seguenti quattro stadi:

1. **aerobico**;
2. **anaerobico non metanigeno;**
3. **anaerobico metanigeno instabile;**
4. **anaerobico metanigeno instabile.**

Le fasi di cui sopra in elenco sono stata di seguito affrontate in maniera quanto più dettagliata possibile.

I - Stadio aerobico

Durante questa prima fase le proteine si degradano dapprima ad amminoacidi, quindi ad anidride carbonica, acqua, nitrati e solfati; i carboidrati si convertono a biossido di carbonio ed acqua e i grassi s'idrolizzano ad acidi grassi e glicerolo. Pertanto, il risultato dell'idrolisi (equazione 1.1) è la solubilizzazione dei materiali in zuccheri, alcoli e lunghe catene di acidi grassi riducendo le dimensioni delle molecole organiche, e di fatto consentendo il trasporto attraverso le membrane cellulari dei microbi.

$$(C_6H_{10}O_5)n + H_2O \rightarrow nC_6H_{12}O_6 \qquad (1.1)$$

La cellulosa, che costituisce la parte preponderante della frazione organica dei rifiuti, è degradata a glucosio, che è successivamente utilizzato dai batteri e convertito in CO_2 e H_2O. Questo stadio, data l'esotermicità delle reazioni d'ossidazione biologica, è caratterizzato dal raggiungimento di temperature elevate (60-70 °C). L'aumento della pressione parziale dell'anidride carbonica, che si dissolve in acqua formando un acido debole, oltre a diminuire il pH, può portare in soluzione altre sostanze minerali. Ne consegue che il percolato formatosi in questa prima fase è leggermente acido e normalmente mantiene un elevato contenuto di COD, anche per la presenza delle sostanze organiche parzialmente degradate. E' bene comunque osservare che durante questa prima fase decompositiva, i quantitativi di percolato prodotto sono minimi, il rifiuto non ha ancora raggiunto la stabilizzazione idrologica, e il processo tende ad assorbire i liquidi presenti.

II - Secondo stadio anaerobico non metanigeno

Una volta consumato l'ossigeno, hanno inizio i processi biodegradativi come respirazione anaerobica. In questa fase i composti inorganici ossidati (nitrati e solfati) possono essere utilizzati come fonte di ossigeno. Durante questo stadio l'esotermicità della reazione è meno pronunciata rispetto allo stadio precedente. Una gran varietà di prodotti può formarsi dal substrato organico di partenza che è in genere costituito da acidi grassi, zuccheri ed amminoacidi. Dal glucosio si possono formare gli acidi organici volatili acetico, propionico e butirrico, come descritto nelle reazioni 1.2, 1.3 e 1.4. Questi acidi e l'anidride carbonica disciolta, la cui formazione continua ad aumentare, accentuano le proprietà acide del percolato, il cui pH è generalmente compreso tra 5,5 e 6,5.

$$\mathbf{C_6H_{10}O_6 \rightarrow CH_3(CH_2)_2COOH + 2H_2 + 2CO_2} \quad (1.2)$$

$$\mathbf{C_6H_{10}O_6 + 2H_2 \rightarrow 2CH_3CH_2COOH + 2H_2O} \quad (1.3)$$

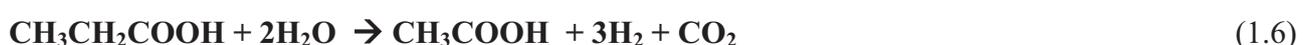
$$\mathbf{C_6H_{10}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 4H_2 + 2CO_2} \quad (1.4)$$

A differenza del metabolismo aerobico durante il quale la conversione della materia organica è quasi sempre portata a termine da un'unica specie di batteri, il metabolismo anaerobico richiede diversi tipi di popolazioni batteriche, ciascuna delle quali ossida parzialmente una determinata classe di composti. Queste prime due fasi si concludono in un lasso di tempo di circa 6 mesi.

III - Stadio anaerobico metanigeno instabile

In questa fase ha inizio il processo di decomposizione anaerobica metanigena, durante la quale i metanigeni, classe batterica molto eterogenea, convertono la sostanza organica parzialmente degradata in CH_4 e CO_2. Durante questa fase si verifica la conversione in acido acetico delle lunghe catene di acidi grassi volatili.

$$\mathbf{CH_3(CH_2)_2COOH + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2H_2} \quad (1.5)$$

$$\mathbf{CH_3CH_2COOH + 2H_2O \rightarrow CH_3COOH + 3H_2 + CO_2} \quad (1.6)$$

In conseguenza del consumo di acidi organici, diminuisce la concentrazione di COD nel percolato, il cui pH aumenta fino ad avvicinarsi alla neutralità. Questo comportamento porta ad una riduzione

dell'aggressività chimica del percolato e ad una diminuzione delle concentrazioni dei composti inorganici (a causa dell'influenza del pH sulla solubilità). A seguito del consumo di substrati solubili, la produzione di metano dai rifiuti diventa dipendente dall'idrolisi della cellulosa, la quale peraltro contiene la più alta quantità di carbonio effettivamente biogassificabile. La percentuale di metano nella miscela gassosa cresce progressivamente, e pertanto diminuisce la pressione parziale dell'anidride carbonica. Questa terza fase, caratterizzata dal progressivo aumento della frazione volumetrica costituita da metano, dura per un lasso di tempo che va da 3 mesi ad un anno.

IV - Stadio anaerobico metanigeno stabile

Il processo di trasformazione anaerobica della materia organica biodegradabile raggiunge l'equilibrio con frazioni volumetriche costanti di metano e biossido di carbonio. Le equazioni 1.7 e 1.8 sintetizzano le funzioni esplicate dai metanigeni.

$$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2 \quad (1.7)$$

$$4\,H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + H_2O \quad (1.8)$$

La percentuale di metano è piuttosto variabile, tuttavia compresa in un range del 45-65%. Per maggiore chiarezza, le quattro fasi sopra descritte sono state riassunte nel seguente diagramma di flusso.

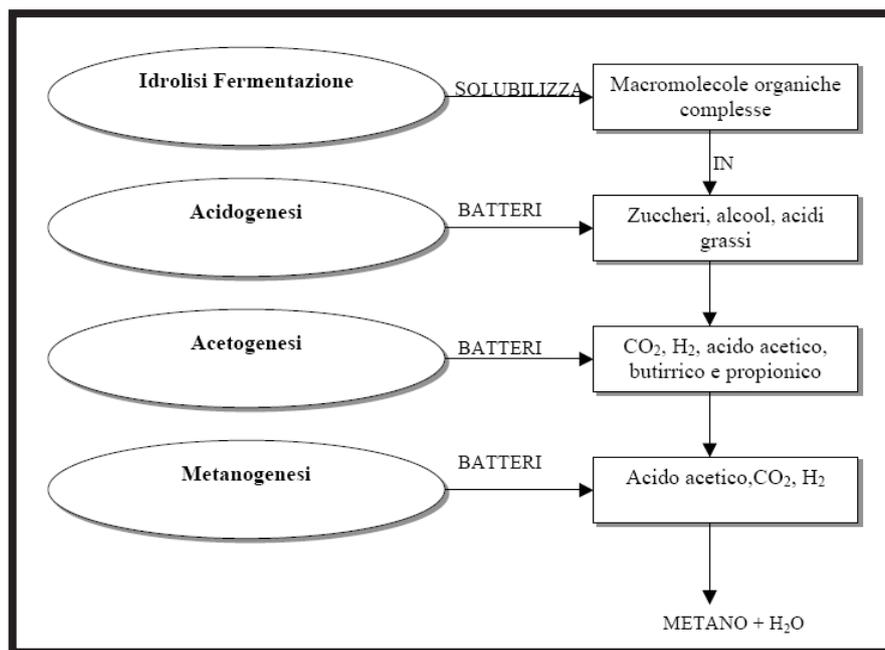



Fig. 9.15 - Sequenza delle fasi costituenti il processo di formazione del percolato

Come è emerso dall'analisi del processo sopra descritto, il concorso di fattori, quali la composizione dei rifiuti e l'andamento nel tempo delle reazioni biologiche e chimico-fisiche in discarica, fa si che le caratteristiche qualitative del percolato siano fortemente variabili.

E' importante osservare però che la variazione nei parametri di qualità del percolato è altresì dovuta a fattori quali:

- l'età della discarica e quindi il grado di stabilizzazione della sostanza organica;
- il bilancio idrico che ha condotto alla formazione del percolato stesso.

Di seguito si riportano i valori indicativi della composizione del percolato prodotta dalla discarica.

Tabella 9.2 - Composizione indicativa percolato prelevato da una generica discarica controllata per rifiuti solidi urbani

Sostanza	Parametro indicatore	Intervallo di valori		Unità di misura
		Minimo	Massimo	
	pH	**5,80**	**8,60**	
BOD_5	O_2	**300**	**23000**	
COD	O_2	**900**	**57000**	mg/l
Ammoniaca	$N\text{-}NH_4^+$	**27**	**1500**	
Azoto Organico	N	**6,50**	**510**	
Acidi volatili		**2,40**	**240**	m^2/l
Fosforo	P	**0,40**	**23**	
Cadmio	Cd	**0,02**	**0,12**	
Cromo	Cr	**0,02**	**0,85**	
Ferro	Fe	**5**	**600**	
Manganese	Mn	**0,20**	**70**	mg/l
Nichel	Ni	**0,06**	**1,70**	
Piombo	Pb	**0,05**	**2,35**	
Rame	Cu	**0,02**	**0,6**	
Zinco	Zn	**0,10**	**4,25**	

E' chiaro pertanto come la produzione del percolato si distingue, in base al grado di biodegradazione in atto, in due fasi: una detta acida, l'altra denominata metanifera o metano genica.
La prima fase è classica dei percolati prelevati da discariche, cosiddette "giovani", con meno di 10 anni di esercizio ed è caratterizzata da alti valori di BOD_5 e COD e dalla presenza di acidi volatili liberi come l'acetico, il propinico ed il valerico. Più che i valori assoluti di BOD_5 e COD, ai fini della valutazione del livello di biodegradazione, si prende in considerazione il loro rapporto; un valore del rapporto BOD_5 /COD pari a 0,5 indica un alto gradi di biodegradazione in atto.
Nella seconda fase, tipica del percolato prelevato da discariche più vecchie dove si manifesta un'attenuazione dei processi di biodegradazione, si nota un notevole calo della concentrazione di BOD_5 e COD, anche se in maniera diversa: il COD si riduce infatti più lentamente rispetto al BOD_5 a causa della persistenza di materiali organici non biodegradabili. In questo fase il rapporto tra le due domande di ossigeno, quella biologica e quella chimica, assume valori inferiori a 0,2.
Quella finale è la fase in cui i processi di stabilizzazione tendono a concludersi, in quanto si esaurisce via via la percentuale di organico, e la discarica si avvia così a fine vita.
Di seguito si riporta l'andamento di concentrazione dei parametri indicatori (vedi tabella 9.2) durante le fasi di stabilizzazione del particolato sinora discussa.

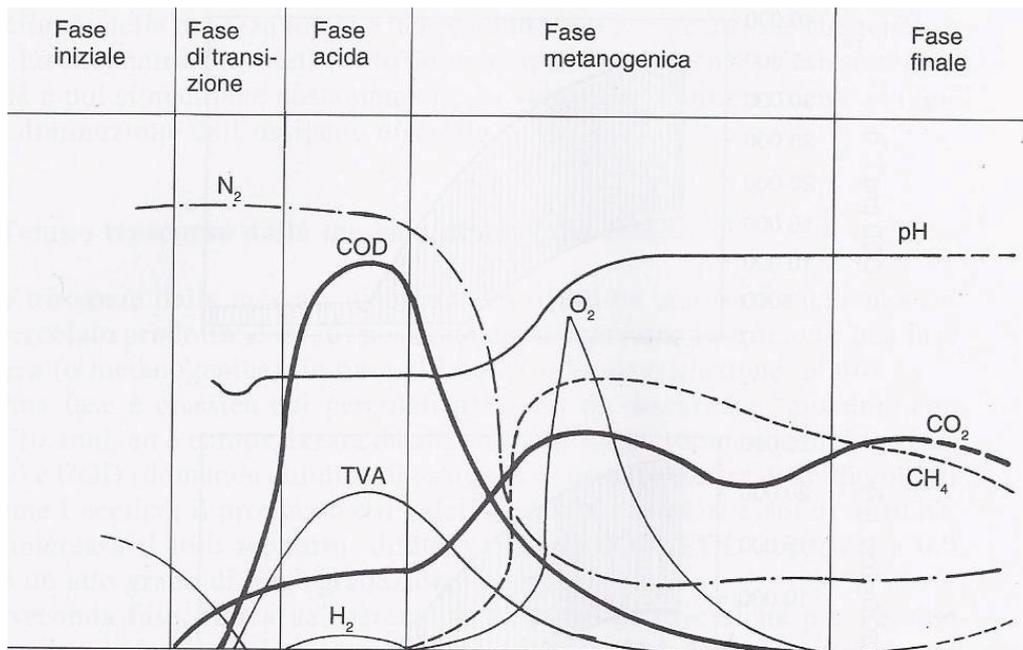



Fig. 9.16 - Variazioni dei tenori dei parametri indicatori nelle fasi di stabilizzazione dei percolati - Fonte: Sonia Gervasoni – Discariche Controllate – HOEPLI 2004

9.2.4.2.3 Stima della produzione

9.2.4.2.3.1 Bilancio idrologico di una discarica

Come già sopra anticipato, la formazione del percolato è regolata da vari fattori legati alla meteorologia ed idrologia della zona, nonché da caratteristiche costruttive e gestionale dell'impianto. Per stimare la produzione di percolato è ormai accettato che il miglior metodo sia quello di impostare il bilancio idrologico. Questo esprime il concetto secondo cui i volumi idrici affluiti nel bacino in un dato intervallo di tempo devono uguagliare la somma dei volumi da esso defluiti ed accumulatisi nello stesso periodo di tempo. Assimilando un bacino ad una discarica già colmata, la portata di percolato prodotto è legato al bilancio di massa relativo ai flussi di acqua in ingresso ed in uscita dal settore, nonché gli accumuli e produzioni interne; tali flussi sono:

- le precipitazioni meteoriche (P);
- il ruscellamento superficiale dalla discarica (R);
- l'evaporazione (E) e la traspirazione (T);
- le infiltrazioni di acque superficiali (S) e sotterranee (G);
- il ruscellamento dalla aree circostanti (R*);
- la variazione del contenuto di acqua del materiale di copertura (ΔU_S);
- la variazione del contenuto di acqua presente nei rifiuti depositati (ΔU_W);
- la produzione/consumo di acqua associabile alle reazioni biochimiche di degradazione aerobica ed anaerobica della sostanza organica dei rifiuti (b);
- il percolato che si infiltra nel terreno sottostante (L_i);
- il percolato raccolto (L_r);
- la quantità di percolato globalmente prodotta (L);
- la pioggia che si infiltra nello strato vegetale di copertura e penetra nell'ammasso rifiuti (P_i);
- la pioggia percolante negli strati di rifiuto.

L'immagine seguente riporta lo schema generale, di bilancio idrologico di un impianto di scarico di rifiuti controllato, nel quale sono rappresentati tutti i flussi sopra elencati.

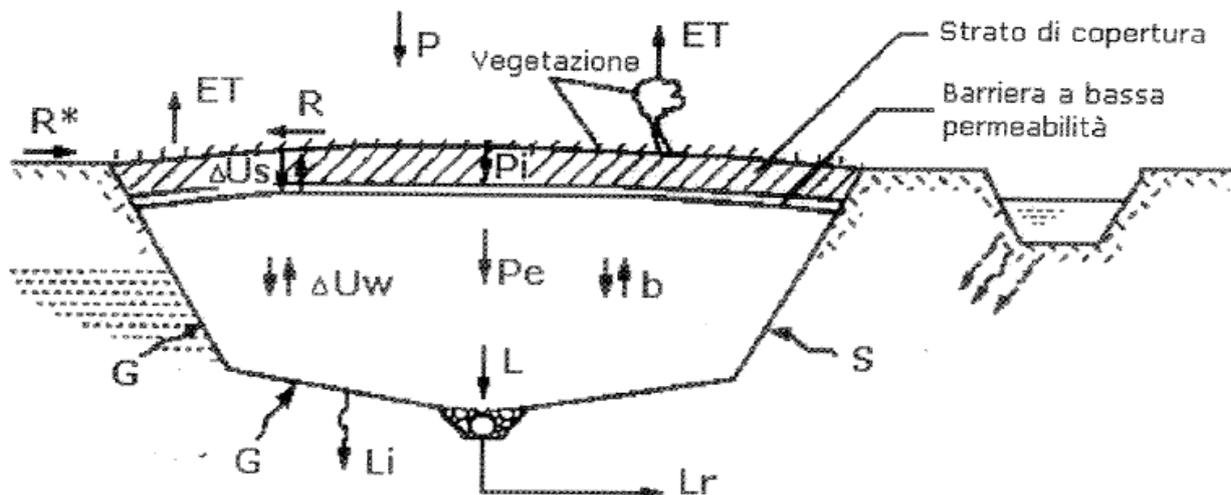



Fig. 9.17 - Schema generale di bilancio idrologico di un impianto discarica

A regime, il bilancio idrologico di una discarica è espresso dalla seguente equazione

$$\mathbf{L = P_i + S + G + (\Delta U_s + \Delta U_w) + b}$$

in cui P_i, che, come già definito sopra in elenco, rappresenta la quantità di pioggia che penetra per infiltrazione attraverso lo strato di copertura, è calcolabile con l'espressione $P_i = P + R^* - R - E - T$.
P_e è l'acqua percolante negli strati di rifiuto, e quindi interessata dai fenomeni di trasporto solido-liquido, che ne causano la contaminazione per effetto delle sostanze organiche ed inorganiche presenti nei rifiuti. P_e è calcolabile, a partire da P_i, applicando la seguente equazione matematica:
$P_e = P_i + f(S + G) - \Delta U_s$ in cui $f(S + G)$ rappresenta la frazione di acqua di infiltrazione che by-passa la massa dei rifiuti non entrando in contatto con essi. Questa porzione di acqua costituisce un'acqua di diluizione che, come è facile immaginare, influirà sulle caratteristiche qualitative del percolato.
Infine, il percolato effettivamente raccolto può essere ricavato dalla differenza tra quello complessivamente prodotto e quello che si infiltra nel sottosuolo.
Per il fatto che nella fase iniziale della percolazione dovuta agli eventi piovosi, sia il materiale di copertura che i rifiuti non si trovano generalmente in condizione di saturazione e sono quindi in grado di assorbire anche notevoli quantità di acqua (ΔU_S, ΔU_W), la comparsa di percolato sul fondo può risultare ritardata. L'acqua assorbita infatti può essere rilasciata successivamente per evapotraspirazione e negli strati più bassi per effetto della compressione.
Degli elementi che compongono il bilancio idrologico non hanno tutti la medesima importanza quantitativa: si può infatti affermare che risultano trascurabili il consumo biochimico d'acqua, gli afflussi da acque superficiali e sotterranee, in quanto la normativa vigente in materia impone una distanza minima tra fondo della discarica e falda idrica, le fughe di percolato in quanto si presume che il cumulo dei rifiuti sia scaricato su uno strato di fondo altamente impermeabile tale da

scongiurare qualsiasi fenomeno di lisciviazione nel sottosuolo. Infine, anche R^* è trascurabile in quanto normalmente, in fase di progettazione della discarica, si prevede un canale di gronda che allontani le acque di ruscellamento provenienti da aree esterne confinanti con la discarica. La formula per il calcolo del bilancio idrologico assume pertanto la seguente forma:

$$L_r = L = P - R - E - T + \Delta U_s + \Delta U_w$$

Di seguito si riporta una rappresentazione schematica del bilancio idrico che interessa il corpo della discarica.

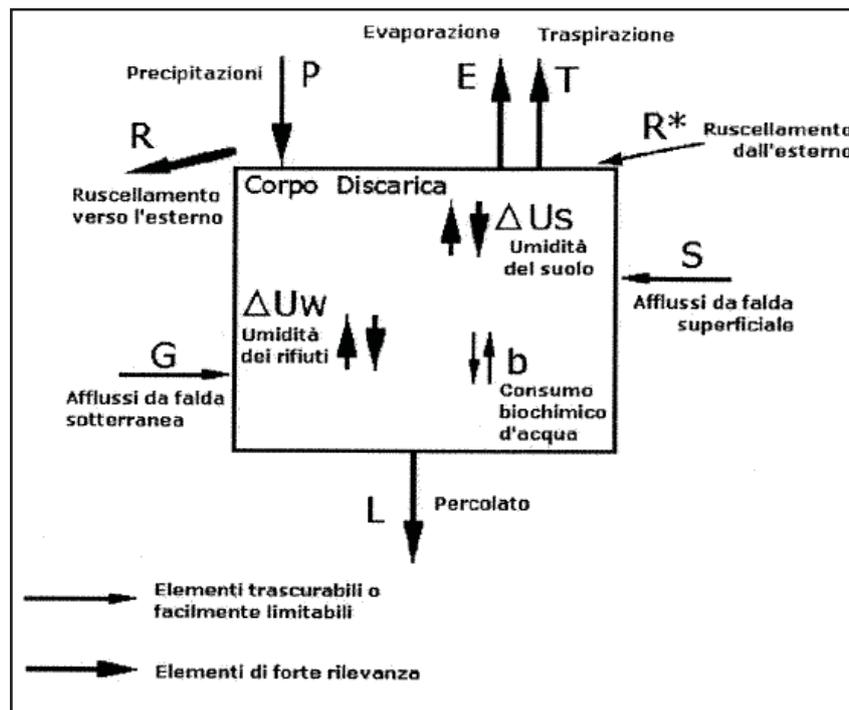



Fig. 9.18 - Schema semplificato di bilancio idrogeologico di un impianto discarica

9.2.4.2.3.2 FATTORI CHE INFLUENZANO LA PRODUZIONE DEL PERCOLATO

Ciascuno dei termini del bilancio idrologico influenza, anche se in diversa misura, il bilancio stesso. Ai fini di una corretta gestione della discarica e così della minimizzazione della produzione di percolato, tali termini posso essere classificati in tre categorie che saranno di seguito trattate in maniera approfondita:

- fattori incontrollabili (precipitazioni);
- fattori eliminabili (ruscellamento superficiale dalle aree circostante, infiltrazioni da corpi idrici superficiali e da falde sotterranee);
- fattori controllabili (ruscellamento sulla superficie dello scarico, infiltrazioni, evapotraspirazione, umidità dei rifiuti).

Precipitazioni

Il contributo meteorico fornisce il maggior contributo al bilancio. Il ruolo più importante è svolto dalle piogge meno intense e di lunga durata, mentre gli eventi temporaleschi, intensi e di breve

durata, saturano rapidamente del terreno di copertura, causando ruscellamenti più intensi ed infiltrazioni più modeste. I dati di precipitazione devono essere ricavati sul sito; soltanto in mancanza di tali registrazioni si farà riferimento alla stazione pluviometrica, idrologicamente più simile.

Ruscellamento superficiale

I più importanti fattori che influenzano il ruscellamento sono rappresentati:

- dalla topografia e morfologia del terreno;
- dal tipo di materiale di copertura;
- dalla permeabilità del suolo;
- dal grado di umidità;
- dai sistemi di drenaggio adottati;
- dal tipo di vegetazione utilizzata come ricoprimento esterno superficiale.

La stima del ruscellamento, espresso in mm/d, può essere valutata sulla base del prodotto tra le precipitazioni ed un coefficiente empirico adimensionale; quest'ultimo è a sua volta calcolato applicando la seguente espressione:

$$c = a \cdot b_i$$

in cui:

- a è il coefficiente di ruscellamento che tiene conto della presenza o meno di copertura vegetale, della presenza e della natura del terreno di copertura, oltre che di tutti gli altri elementi invarianti o poco variabile nel tempo;
- b_i ha la funzione di correggere il dato di ruscellamento al variare delle condizioni di umidità del terreno e del ciclo vegetativo nei diversi mesi dell'anno.

Tabella 9.3 - Coefficienti di ruscellamento "a" per discarica colmata e dotata di copertura superficiale per discarica in esercizio, ossia ancora in fase di riempimento.

Discarica	tipo di terreno	pendenza		
		<5%	5-10%	>100%
colmata	sabbioso	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20
	argilloso	0,13-0,17	0,18-0,22	0,25-0,35
in esercizio	sabbioso	0,08-0,13	0,13-0,18	0,18-0,25
	argilloso	0,16-0,20	0,21-0,25	0,27-0,38

Tabella 9.4 - Coefficienti moltiplicativi (b_i) del valore medio annuale per il calcolo dei coefficienti medi di deflusso superficiali.

Mese	(b_i)	Mese	(b_i)
Gennaio	1,60	Luglio	0,29
Febbraio	1,80	Agosto	0,29
Marzo	1,43	Settembre	0,46
Aprile	0,97	Ottobre	1,20
Maggio	0,89	Novembre	1,40
Giugno	0,37	Dicembre	1,60

Evaporazione ed evapotraspirazione

Ai fini di una corretta valutazione del fenomeno, occorre distinguere fra due condizioni della discarica:

- discarica in fase di riempimento, ossia la cui superficie è costituita da terreno nudo (ricoprimento giornaliero);
- discarica chiusa, ossia dotata di superficie di ricoprimento definitivo, inerbita e piantumata.

Tale distinzione risulta necessaria, in quanto nel primo caso si terra conto della sola evaporazione (E), mentre nel secondo anche della traspirazione delle piante (evapotraspirazione ET).

L'evapotraspirazione dipende da un gran numero di fattori; per cui per tentare di semplificarne il calcolo, si introduce il concetto di evapotraspirazione potenziale, che definisce la quantità di acqua evapotraspirata allorquando la vegetazione abbia a disposizione un rifornimento idrico tale da consentirne lo sviluppo fisiologico.

Si è sperimentalmente verificato che il valore di tale evapotraspirazione potenziale non dipende dal tipo di vegetazione ne dalle caratteristiche del terreno, essendo cioè correlata esclusivamente alle caratteristiche climatiche della zona.

Una formula empirica di semplice impiego per il calcolo dell'evapotraspirazione potenziale è quella di Thorntwaite:

$$\mathbf{PE_i = 16 \cdot [(10T_i)/I_T]^a \cdot C_i}$$

in cui si identificano i seguenti fattori:

- PE_i = evapotraspirazione potenziale del mese i-esimo (mm/mese);
- T_i = temperatura media mensile (°C);
- I_T = indice termico annuale calcolabile come $\Sigma_{(i=1 \rightarrow 12)} (T_i/5)^{1,514}$;
- $a = a(I_T) = 6{,}75 \cdot 10^{-7} \cdot I_T^3 - 7{,}71 \cdot 10^{-5} \cdot I_T^2 + 1{,}79 \cdot 10^{-2} \cdot I_T + 0{,}49239$;
- C_i = coefficiente di insolazione relativo al mese i-esimo in funzione della latitudine, come mostra la tabella seguente.

Tabella 9.5 - Coefficiente di insolazione mensile

Mesi	Latitudine Nord		
	40°	45°	50°
Gennaio	0,80	0,77	0,71
Febbraio	0,89	0,88	0,83
Marzo	0,99	0,99	0,98
Aprile	1,11	1,12	1,14
Maggio	1,20	1,23	1,28
Giugno	1,25	1,30	1,36
Luglio	1,23	1,28	1,33
Agosto	1,14	1,18	1,20
Settembre	1,04	1,05	1,05
Ottobre	0,93	0,91	0,89
Novembre	0,83	0,80	0,75
Dicembre	0,78	0,73	0,68

Nella stagione umida, durante la quale sia ha P – R > PE, si ha: ET = PE. Nella stagione secca, invece, in cui P – R < PE, le condizioni di umidità del terreno non consentono di avere evapotraspirazione pari al valore potenziale, perciò ET < PE e l'evapotraspirazione effettiva avviene in parte a spese della precipitazione ed in parte a spese dell'umidità del terreno, risultando di difficile stima.

Nel caso di terreno nudo, come ad esempio per una discarica in esercizio, si dovrà fare riferimento alla sola evaporazione; anche in questo caso possono utilizzarsi formule empiriche, come quella di Turc:

$$E = \frac{P + a}{\sqrt{1 + \frac{P + a}{L}}}$$

in cui:

- E = evaporazione in 10 giorni (mm);
- P = precipitazione in 10 giorni (mm);
- a = volume di acqua che può evaporare dal suolo in 10 giorni in assenza di precipitazioni; questo può essere calcolato con la formula $a = 10 - 0{,}01 \cdot t^{0,5}$, essendo t il tempo trascorso dall'ultima precipitazione, espresso in secondi;
- L è il fattore elio termico, calcolabile con la formula seguente:

$$L = \frac{1}{16}(T + 2)\sqrt{I_g}$$

in cui:

- T è la temperatura media (°C);
- I_g è l radiazione globale solare data da $[I_0 \cdot (0{,}18+0{,}62 \cdot n/N)]$ essendo I_0 la radiazione solare massima teorica ($cal/cm^2/d$), N le ore massime teoriche di insolazione giornaliera, n le ore di insolazione giornaliere effettive.

Tabella 9.6 - Radiazione solare teorica ($cal/cm^2/d$) a differenti latitudini dall'emisfero Nord

Mesi	Latitudine Nord		
	40°	45°	50°
Gennaio	365	293	220
Febbraio	495	425	354
Marzo	655	600	545
Aprile	815	783	750
Maggio	940	928	915
Giugno	985	983	980
Luglio	960	955	950
Agosto	865	838	810
Settembre	715	665	615
Ottobre	550	485	420
Novembre	400	330	260
Dicembre	330	255	180

Tabella 9.7 - Ore massime teoriche di insolazione giornaliera a differenti latitudini dall'emisfero Nord

Mesi	Latitudine Nord		
	40°	45°	50°
Gennaio	9,60	9,24	8,52
Febbraio	10,68	10,56	9,96
Marzo	11,88	11,88	11,76
Aprile	13,32	13,44	13,68
Maggio	14,40	14,76	15,36
Giugno	15,00	15,60	16,32
Luglio	14,76	15,36	15,96
Agosto	13,68	14,16	14,40
Settembre	12,48	12,60	12,60
Ottobre	11,16	10,92	10,68
Novembre	9,96	9,60	9,00
Dicembre	9,36	8,76	8,16

Infiltrazione

a) Attraverso il terreno di copertura

L'acqua di infiltrazione può percolare attraverso la massa dei rifiuti soltanto quando è esaurita la capacità di campo del terreno di copertura.
La capacità di campo è la quantità di acqua che può essere trattenuta da uno strato di terreno o di rifiuti e si definisce come il peso percentuale di acqua che può essere immagazzinato da un peso di rifiuti contenuto nell'unità di volume.
Se è presente una barriera naturale a bassa permeabilità, costituita ad esempio da uno strato di argilla, il flusso idrico in condizioni di saturazione obbedirebbe alla nota legge di filtrazione attraverso un mezzo poroso (legge di Darcy):

$$\textbf{Portata del flusso} = Q = K \cdot S \cdot i$$

dove:

- K è la permeabilità del mezzo (m/s);
- S è la sezione di passaggio (m^2);
- i è il gradiente idraulico (m/m).

Uno strato drenante tra terreno di copertura e barriera a bassa permeabilità minimizza il flusso drenante.

b) Attraverso l'ammasso dei rifiuti

Essendo, in linea di principio non corretto il supporre che il moto dell'acqua, nella massa dei rifiuti, possa essere simulato con leggi di filtrazioni applicate ad un mezzo saturo, si rende necessario ricorrere ad una modellizzazione del flusso idrico che adotti leggi di moto in mezzi insaturi porosi.
La differenza fra capacità di campo e contenuto iniziale d'acqua dei rifiuti (umidità dei rifiuti) è definita capacità idraulica dei rifiuti: soltanto quando l'infiltrazione satura la capacità idraulica si ha

la comparsa del percolato.
Nella realtà, tale comparsa avviene prima a causa di cortocircuiti idraulici derivanti dalla presenza di canali preferenziali. In effetti, di norma, si valuta che la prima comparsa di percolato avvenga per un contenuto di acqua che è dell'ordine del 50% della capacità di campo.
La compattazione dei rifiuti, aumentandone la densità, incrementa la loro capacità di campo e ne diminuisce la permeabilità; si passa per esempio da valori di 10^{-2} cm/s per rifiuti con grado di compattazione pari a 0,3 t/m^3, ossia non compattati, a valori di 10^{-4} cm/s per rifiuti compattati (0,8 t/m^3). In ogni caso, note le capacità di campo, l'umidità iniziale dei rifiuti e l'entità delle infiltrazioni, è possibile stimare il tempo di prima comparsa del percolato.
Una formula empirica per il calcolo della capacità di campo di RSU è la seguente:

$$FC = 0,6 - 0,55 \frac{W}{4536 + W}$$

in cui

- FC = percentuale di acqua nel rifiuto sul peso secco dello stesso (capacità di campo);
- W = peso dei rifiuti, calcolato sull'altezza media dello strato considerato in kg.

In maniera semplificata, si consideri che un RSU, alla densità di 0,65 t/m^3, ossia mediamente compattato, possiede in media, in termini di percentuale ponderale su base secca, un'umidità del 35% ed una capacità di campo intorno al 60%.

9.2.4.2.4 Sistemi di raccolta e trattamento

Una corretta progettazione e gestione di una discarica per RSU prevede il rapido allontanamento del percolato prodotto, in quanto questo potrebbe provocare:

- l'aumento del tempo di contatto tra liquido e rifiuti e conseguenti interazioni di natura chimica con i materiali dello strato impermeabile;
- l'innalzamento del carico idraulico sul fondo della discarica che favorisce il moto di filtrazione attraverso lo strato di impermeabilizzazione;
- la diminuzione della stabilità dello scarico controllato.

Al fine di evitare tali fenomeni, il percolato deve essere pertanto drenato da una rete di tubi micro fessurati disposti a lisca di pesce ed orientati verso un collettore principale parallelo alla direzione di massima inclinazione del fondo della discarica e viene così convogliato verso un pozzo di raccolta. Le dimensioni dei tubi, la loro distanza, e le dimensioni del pozzetto di raccolta vengono definiti in fase di progettazione dell'impianto sulla base della quantità di rifiuti, delle precipitazioni medie annue e della pendenza del fondo.
Dal pozzetto di raccolta, il liquido inquinante viene prelevato mediante una pompa e convogliato in una vasca di decantazione, anch'essa preventivamente impermeabilizzata. Per tutta la vita della discarica, il percolato viene inviato, per il trattamento ad un impianto di depurazione che può essere interno od esterno Per meglio chiarire la configurazione del sistema di raccolta, si riportano di seguito due immagini: una relativa allo schema del sistema di drenaggio, l'altra un particolare dello stesso.

Fig. 9.19 - Impianto drenante del percolato
Fonte: Sonia Gervasoni – Discariche Controllate – HOEPLI 2004

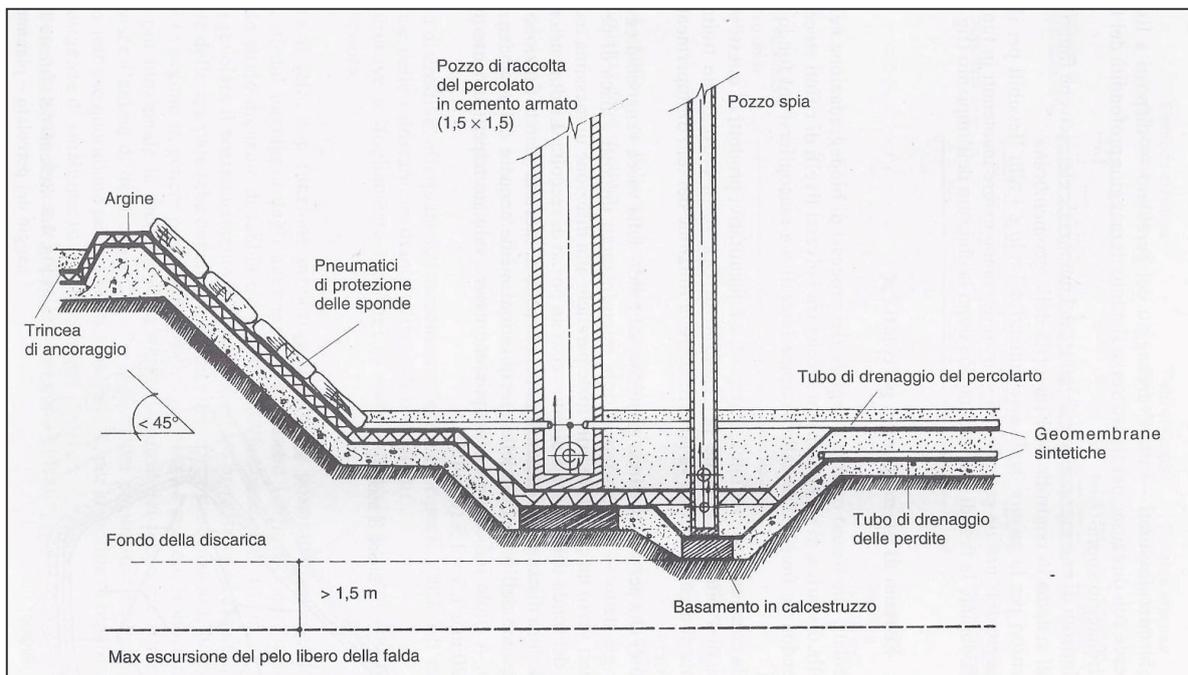



Fig. 9.20 - Particolare del sistema drenante: dreni, pozzo del percolato e pozzetto spia - Fonte: Sonia Gervasoni – Discariche Controllate – HOEPLI 2004

9.2.4.2.5 Trattamento e smaltimento

Nel progetto di un impianto di trattamento del percolato si devono tenere in considerazione oltre che le caratteristiche del percolato da trattare, anche dei seguenti aspetti:

- concentrazioni limite da rispettare;

- bassa richiesta di risorse ed energia;
- limitata generazione di residui;
- basso impatto ambientale;
- funzionamento semplice, affidabile, efficiente ed economico.

Esistono due tipologie di trattamenti: biologici e chimico-fisici. I primi, pur avendo lo svantaggio di essere dipendenti dalla temperatura e dal pH, sono molto efficaci nel ridurre i composti organici biodegradabili (BOD) e la maggior parte di quelli totali (COD). Anche nel caso di basse concentrazioni di sostanza organica e BOD5/COD < 0,2 si ha una riduzione del COD fino al 50%. In oltre si ha il vantaggio della ossidazione dello ione ammonio e la trasformazione ad Azoto gassoso dei nitrati e dello ione ammonio (nitrificazione e de-nitrificazione).
I trattamenti chimico-fisici, invece, agiscono principalmente nella separazione e concentrazione degli inquinanti. Il concentrato deve poi essere ulteriormente trattato (incenerito, depositato in discarica o altro trattamento). In generale non esiste un solo trattamento da solo efficace nel raggiungere gli obiettivi di scarico.

9.2.4.2.5.1 TRATTAMENTI BIOLOGICI

Il trattamento biologico del percolato è un processo a basso costo in cui la sostanza organica è convertita ad anidride carbonica, acqua e biomassa. In generale sé le sostanze inquinanti possono essere trattate con processi biologici, è sconsigliato l'uso di processo chimico-fisici, più costosi. In alcuni casi però difficile è il raggiungimento degli standard di legge solo tramite trattamento biologico e si deve prevedere un processo integrato. La trattabilità biologica del percolato dipende dal rapporto BOD_5/COD (>0,5) e dalla presenza di sostanze inibenti l'attività batterica (Metalli, Solfuri, Cloruri, Fenoli, Cianuri…) All'aumentare dell'età della discarica l'attenzione si sposta verso la rimozione dell'ammoniaca.
Per il dimensionamento di un impianto di trattamento biologico si devono tenere in considerazione i seguenti punti:

1. produzione di schiume nelle sezioni aerobiche;
2. sedimentazione di solidi e composti che possono ostruire parti dell'impianto;
3. bassa temperature dal percolato per la lunga permanenza nelle vasche biologiche;
4. bassa concentrazione di fosforo nei percolati;
5. bassa concentrazione di BOD_5 e alta di ammoniaca nei percolati vecchi;
6. presenza di composti refrattari.

<u>Trattamento biologico combinato con reflui urbani</u>

Se entrambe le acque di rifiuto possono essere trattate separatamente con sistemi biologici, ogni loro combinazione può essere trattata con gli stessi sistemi. Si devono tener conto di alcuni accorgimenti. Se la portata di percolato è aggiunta alla portata di liquame trattato senza alcun cambiamento, si verifica un aumento di carico e un conseguente aumento della produzione di effluente e di fango. L'aumento in oltre potrebbe ridurre drasticamente il tasso di nitrificazione con tossicità da ammoniaca. Allora si devono mantenere le stesse condizioni di carico che si avrebbero senza l'aggiunta del percolato. Ancora una restrizione si può verificare nella fase di denitrificazione se il contenuto organico è usato come fonte di carbonio: il percolato di vecchie discariche ha basso contenuto organico biodegradabile. Il trattamento dei reflui urbani combinato con il trattamento del percolato è ormai una tecnologia collaudata e ben funzionante se l'impianto di trattamento è

progettato e gestito accuratamente. Inoltre si evidenzia una maggiore stabilità e una maggiore funzionalità rispetto a sistemi di trattamento esclusivo del percolato.

Trattamento biologici aerobici

I **lagunaggi aerobici** si dimostrano sistemi semplici, economici ed affidabili, caratteristiche richieste per il trattamento del percolato. Tale tecnologia può portare a rendimenti di abbattimento del 98-99% per BOD e COD e superiori al 90% per l'ammoniaca. I lunghi tempi di ritenzione permettono uno sviluppo batterico anche a basse temperature e rimozione anche delle sostanze difficilmente biodegradabili. I trattamenti a **fanghi attivi** hanno tempi di ritenzione inferiori per la maggiore concentrazione di fango che comunque necessita di una successiva sedimentazione. Anche in questo caso vi sono i vantaggi della rimozione del BOD e dell'ammoniaca, che diventa parametro molto importante all'invecchiare della discarica. La gestione dell'impianto diventa difficoltosa all'invecchiare del percolato in quanto diminuiscono i carichi organici, rimangono alti i livelli di ammoniaca, varia il pH verso la basicità. Si deve pertanto considerare in maniera molto attenta le variazioni del pH, le fasi di nitrificazione e de-nitrificazione e le variazioni di temperatura. Gli impianti a **dischi biologici** e a **letti percolatori** richiedono minori consumi energetici e risultano più efficaci per la nitrificazione in presenza di biomassa adesso. Anche la temperatura può non interferire i processi perché normalmente questi impianti sono coperti.

Trattamento biologici anaerobici

I **lagunaggi anaerobici** sono buoni pre-trattamenti del percolato soprattutto per smorzare le punte quali-quantitative influendo positivamente sui successivi trattamenti. Garantiscono anche una buona rimozione del COD (80-90%) ma sono totalmente inefficaci nella rimozione dell'Azoto ammoniacale. I **digestori anaerobici** sono stati di recente oggetto di studio è si è dimostrato come temperature di 25°C consentano buone velocità di degradazione. Anche i reattori UASB permettono rendimenti di abbattimento del COD intorno al 90% con percolati giovani in ingresso con 10,000 - 20,000 mg COD/l. Il vantaggio principale di un pretrattamento o un trattamento anaerobico sono la bassa richiesta di energia. L'effluente dei processi anaerobici ha comunque residui ancora elevati di BOD5/COD (>0,3) e di COD(>1000-4000 mg/l) che spesso richiedono un successivo trattamento.

9.2.4.2.5.2 TRATTAMENTI CHIMICO-FISICI

I trattamenti di tipo chimico-fisici non costituiscono l'unità fondamentale depurativa del percolato; tuttavia le norme restrittive sugli scarichi rendono tali processi indispensabili. Infatti anche a valle di un trattamento biologico, il percolato contiene ancora alcune sostanze che ne impediscono lo smaltimento finale che potrebbe essere invece possibile mediante un ulteriore stadio di finissaggio. Una di queste tecniche di trattamento è rappresentata dalla *chiariflocculazione*. Si può affermare che la chiariflocculazione con sali di calcio, ferro e alluminio non è in grado di ridurre il carico organico del percolato, in particolare quando quest'ultimo risulta elevato. Buoni risultati può invece offrire sulla rimozione dei metalli della torpidità e del colore.

Una possibile spiegazione della scadente resa di tali trattamenti potrebbe risiedere nella presenza nel percolato di acidi grassi volatili a basso peso molecolare che presentano scarse caratteristiche di sedimentabilità. Solo nel caso di percolati provenienti da discariche in fase metanigena, è possibile ottenere rimozioni della sostanza organica che possono raggiungere anche il 60%. Simili risultati possono inoltre essere ottenuti anche per i composti organici alogenati. Per la riduzione del COD e

degli AOX (Adsorbale Organic Halogen) sono applicate tecnologie quale *l'adsorbimento su carbone attivo*. Per ottenere ottimi risultati è necessario ricorrere a pretrattamenti. Uno dei principali parametri di processo da considerare è il tempo di contatto: l'esperienza indica che, a causa della complessa natura del percolato, per avere un'alta rimozione delle sostanze indesiderate risulta essere necessario un lungo tempo di contatto. Ciò porta ad avere costi di impianto più elevati compensati però da minor quantità di carbone necessaria. Studi effettuati su un sistema di trattamento a carboni attivi con pretrattamento biologico mostrano un'efficienza di rimozione del COD superiore al 94% e superiore all'85% per quanto riguarda gli alogenati.
Uno dei settori di ricerca più recenti e promettenti è rappresentato dalla filtrazione del percolato su particolari membrane. I processi a cui si fa riferimento quando si parla di separazione a membrana sono la microfiltrazione, l'ultra-fitrazione e l'osmosi inversa. In termini generali si può affermare che:

- **la microfiltrazione:** permette mediante l'impiego di membrane aventi un diametro dei pori variabile tra 0,1 e 1 micron, la rimozione dei solidi sospesi non facilmente sedimentabili. L'impiego di tali membrane è risultato particolarmente efficace nella rimozione dei metalli da acque di scarico di origine industriale precedentemente soggette ad un trattamento di precipitazione chimica per la rimozione dei metalli tossici;
- **l'ultrafiltrazione:** trova il suo campo di applicazione con acque di scarico contenenti oli emulsionati o contaminanti organici ad elevato peso molecolare;
- **osmosi inversa:** mediante l'impiego di membrane aventi un diametro di pori inferiore a 0,002 micron, è in grado di rimuovere dalle acque di scarico i solidi disciolti e i contaminati organici. Nata in tutt'altri settori l'osmosi esterna inversa è già stata applicata al trattamento dei percolati ottenendo permeati ad elevato grado di purezza, salvo il caso di percolati giovani in fase acetica. Le molecole organiche di piccola dimensione in essi contenute non riescono infatti ad essere trattenute dalla membrana e si trovano nel permeato. E' necessario anche un pretrattamento biologico ad esempio mediante il semplice ricircolo del percolato nel corpo della discarica o trattamento a fanghi attivi.

Un altro problema può essere costituito dalla eccessiva presenza di azoto nel percolato. Si può ovviare o tramite una correzione del pH o tramite l'inserimento di un successivo ulteriore stadio di osmosi inversa. Un trattamento che da buoni risultati consiste nella combinazione della microfiltrazione e dell'osmosi inversa. Tale accoppiata consente il trattamento completo del percolato con una buona rimozione dei contaminanti sia organici che inorganici. Il primo stadio di microfiltrazione rimuove i solidi sospesi, i metalli e la durezza. Nel secondo stadio si concentra la sostanza organica residua (98%), i composti organici (97%) salvo il boro, ed i solidi disciolti (98%). Va tuttavia sottolineato che l'osmosi inversa presenta il notevole inconveniente di produrre un rifiuto liquido, il concentrato, dalle difficili caratteristiche di trattabilità. I *trattamenti termici* sono basati su processi di evaporazione e distillazione. Tali impianti possono poi essere corredati di ulteriore stadi di depurazione nel caso se ne presentasse la necessità. L'ovvia richiesta di energia termica può essere parzialmente soddisfatta dalla combustione del biogas prodotto in discarica. Il principale vantaggio di tale processo è la compattezza dell'impianto che in un'unica fase ed indipendentemente dal percolato, permette di ottenere alti livelli di concentrazione. Uno dei nodi principali da risolvere è la presenza dell'ammoniaca nel percolato. Si prevede quindi un abbassamento del pH, in modo da comportare il passaggio alla forma salina dell'ammoniaca gassosa. L'abbassamento del pH porta contemporaneamente all'aumento della presenza dell'acido

carbonico che si scinde in acqua e anidride carbonica. Quest'ultima deve essere eliminata in un apposito stadio di strippaggio. Vi sono poi sistemi di trattamento che prevedono l'impiego di *ozono* concepiti per la disinfezione delle acque in sostituzione dei tradizionali sistemi di clorazione. La proprietà ossidante dell'ozono si esplica fondamentalmente in tre forme:

- ossidazione diretta per addizione del substrato attraverso un processo di ozonolisi;
- ossidazione diretta del substrato per perdita di un atomo di ossigeno;
- ossidazione catalitica per effetto dell'ossigeno presente nell'aria ozonizzata.

Nel caso del percolato l'ozonizzazione può essere efficace nella riduzione degli alogenati e della componente biorefrattaria del COD. Sono stati inoltre sviluppati sistemi combinati *ozono-raggi UV*. Si realizza una ossidazione a umido in cui l'ozono reagisce con le sostanze organiche con doppio legame sul carbonio. Poiché tuttavia altre sostanze tra cui gli idrocarburi clorurati, non vengono attaccate del solo ozono, si ricorre all'accoppiamento con i raggi UV che sono invece in grado di degradarle. Come risultato delle reazioni si ottengono molecole biodegradabili, anidride carbonica e acidi minerali.

9.2.4.2.5.3 Il riciclo del percolato

Tale procedimento costituisce senz'altro uno degli aspetti tecnici più importanti della progettazione e conduzione di una discarica controllata di rifiuti; esso garantisce iinfatti:

- un maggiore trasferimenti di microbi e nutrienti attraverso i rifiuti che incrementa l'attività microbiologica e la produzione di biogas;
- la diminuzione, per effetto dei quantitativi evaporati il volume del liquame da addurre al successivo sistema di trattamento finale;
- la diminuzione della concentrazione di alcuni inquinanti sia organici che inorganici, in particolare l'azoto, che porta alla riduzione del carico organico totale del percolato;
- raggiungimento più rapido della fase metanigena di degradazione dei rifiuti per effetto del conseguente incremento di umidità;
- una dinamica più rapida degli assestamenti che consente di raggiungere abbassamenti del colmo della discarica fino al 30% in tempi rapidi;
- un inferiore tempo di monitoraggio dopo la chiusura della discarica dovuto alla più rapida stabilizzazione dei rifiuti.

9.2.4.2.6 Valori di produzione e trattamento di percolato in Sicilia

In riferimento alle discariche in esercizio, presenti nella Regione Sicilia, alle quali è stato dedicato il paragrafo 1.2.2.2 della presente relazione, si riporta di seguito una tabella recante il sistema di pretrattamento ai fini dell'ammissibilità dei rifiuti ai sensi del decreto legislativo n. 36/2003 e di trattamento del percolato e del biogas; tali argomenti saranno nel seguito oggetto di più dettagliata trattazione.

Tabella 9.8 - Pretrattamento e trattamento del percolato e del biogas nelle discariche in esercizio

Discarica		Pretrattamento	Trattamento	
Comune	Località		percolato	biogas
Siculiana	Materano	vagliatura triturazione	fuori situ	combustione in torce
Sciacca	Salinella	triturazione, deferrizzazione	fuori situ	dispersione libera
Gela	Timpazzo	Trito- vagliatura	fuori situ	combustione in torce
Motta Santa Anastasia A.	Tiriti	impianto mobile di trito- vagliatura	fuori situ	recupero energetico
Catania	Grotte S. G.	impianto mobile di trito- vagliatura	fuori situ	recupero energetico
Enna	Cozzo Vuturo	triturazione, deferrizzazione	fuori situ	combustione in torce
Palermo	Bellolampo	▪ inertizzazione della frazione organica UNIECO; ▪ impianto mobile (trituratore con separazione dei rifiuti ferrosi)	▪ fuori situ ▪ in situ	recupero energetico
Partinico	Baronia	impianto mobile (trito- vagliatura con separazione dei rifiuti ferrosi)	fuori situ	dispersione libera
Castellana Sicula	Balza di Cetta	impianto mobile (trito- vagliatura con separazione dei rifiuti ferrosi)	fuori situ	dispersione libera
Ragusa	Cava dei Modicani	Trito- vagliatura	fuori situ	dispersione libera
Vittoria	Pozzo Bollente	Trito- vagliatura	fuori situ	combustione in torce
Augusta	Coste di Gigia	Triturazione e deferrizzazione	fuori situ	combustione in torce
Campobello di Mazzara	Campana Misiddi	Trito- vagliatura, deferrizzazione	fuori situ	dispersione libera
Trapani	Borranea	Trito- vagliatura, deferrizzazione, biostabilizzazione.	fuori situ	dispersione libera

Fonte ARPA Sicilia – Strutture Territoriali

La tabella 9.9 riporta la quantità di percolato *(CER 190703)* prodotto in Sicilia e trattato dentro e fuori il territorio regionale nel periodo 2004- 2006; la tabella 9.10 presenta invece i dati complessivi della gestione del percolato prodotto in Sicilia nel 2006 sulla base delle dichiarazioni MUD.

Tabella 9.9 - Produzione e gestione del percolato nel periodo 2004 – 2006 in Sicilia (ton/anno)

Percolato	Anno 2004	Anno 2005	Anno 2006
prodotto	145317,1	214885,4451	210.692,97
gestito in Sicilia	36.349,11	67.783,81	56.786,82
gestito fuori Sicilia	97331,36	148846,0621	147819,0834

Fonte: ISPRA e ARPA Sicilia – Sezione Regionale del Catasto Rifiuti

Tabella 9.10 - Gestione del percolato prodotto nel 2006 in Sicilia

Società	Prov	Comune	Quantità trattata (t)
Sicilia Ambiente Srl	CT	Catania	9.453,59
Sat S.A.S. di Gugliemlmo Corrente S.C.	CT	Catania	6.262,24
Acqua Enna SpA	EN	Enna	1.441,98
Amap S.P.A.	PA	Palermo	43.379,18
I.A.S. S.p.A.	SR	Priolo Gargallo	2.132,77
Consuleco Srl	CS	Bisignano	2.774,32
Ecosistemi Srl	CZ	Lamezia Terme	583,40
Consorzio per il Nucleo di Industrializzazione di Crotone	CR	Crotone	925,76
Consuleco Srl	CR	Ciro' Marina	23,48
I.A.M. SpA	RC	Gioia Tauro	139.736,11
Mida Srl	CR	Crotone	31,80
Tecnoparco Valbasento SpA	MT	Pisticci	185,36
Consorzio per il Nucleo di sviluppo industriale di Vibo Valenzia	VV	Vibo Valentia	3.558,85

Fonte: ISPRA e ARPA Sicilia – Sezione Regionale del Catasto Rifiuti

9.2.4.3 BIOGAS

9.2.4.3.1 Definizione e composizione

Il biogas è una miscela di vari tipi di gas prodotto dalla fermentazione batterica in anaerobiosi (assenza di ossigeno) dei residui organici provenienti da rifiuti, vegetali in decomposizione, carcasse in putrescenza, liquami zootecnici o fanghi di depurazione, scarti dell'agro-industria. Il biogas si forma spontaneamente nelle discariche per RSU, in quanto normalmente il 30-40% del rifiuto è rappresentato dalla frazione organica. Nella sua composizione predomina il metano (CH_4), seguito nell'ordine, dal biossido di carbonio (CO_2) e da una vasta gamma di composti in traccia, tra i quali si ricordano idrocarburi, alogenati, idrogeno solforato, alcoli, esteri e vapori metallici. Di seguito si riporta una tabella in cui è stata sintetizzata la composizione chimica di questa miscela gassosa.

Tabella 9.11 - Composizione percentuale tipica del biogas

Componente	% in volume su base secca
Metano	**45÷60**
Anidride carbonica	**40÷60**
Azoto	**2÷5**
Ossigeno	**0,1÷1,0**
Solfuri, mercaptani ed altri composti dello zolfo	**0÷1,0**
Ammoniaca	**0÷1,0**
Idrogeno	**0÷0,2**
Monossido di Carbonio	**0÷0,1**
Costituenti in traccia	**0,01÷0,6**

A completezza del paragrafo si riporta di seguito la formula chimica che regola il processione di degradazione anaerobica della frazione organica presente nei rifiuti, con conseguente produzione di biogas.

Sostanza Organica + $H_2O \rightarrow CH_4 + CO_2 + NH_3$ + gas in traccia

9.2.4.3.2 Processo di formazione

Nel seguito vengono illustrati i principali fenomeni che concorrono al processo di biogassificazione dei rifiuti, nonché i principali fattori che influenzano qualità e quantità del biogas prodotto. La decomposizione dei rifiuti solidi in uno scarico controllato assume spesso aspetti vari e complessi: principalmente processi fisici, chimici e biologici, che agiscono simultaneamente alla degradazione della componente organica dei rifiuti stessi. Per degradazione fisica s'intende la trasformazione delle componenti del rifiuto che comporta il mutamento delle caratteristiche fisiche del rifiuto stesso, fra cui la riduzione del volume. Fra i fenomeni fisici si possono inoltre ricordare la precipitazione di sostanze, nonché i fenomeni di assorbimento e di rilascio di sostanze. Per degradazione chimica s'intende il complesso delle reazioni che avvengono tra le diverse sostanze componenti il rifiuto; ha riflessi anche nella qualità dei percolati, con variazione della solubilità, del potenziale redox e del pH. Il principale meccanismo di decomposizione dei rifiuti in discarica è però la degradazione biologica, cioè la trasformazione della materia per opera di microrganismi, quali i batteri. La degradazione biologica si svolge in varie fasi, le principali delle quali risultano:

- la fase aerobica;
- la fase facoltativa anaerobica;
- la fase metanigena anaerobica.

La figura seguente sintetizza la fasi di fermentazione della sostanza organica, nonché il relativo andamento della composizione in cui: A1 è la fase aerobica, B la fase anaerobica, suddivisa nella fase anaerobica acida (B1) e la fase anaerobica metanigena (B2), A2 la fase conlusiva aerobica.

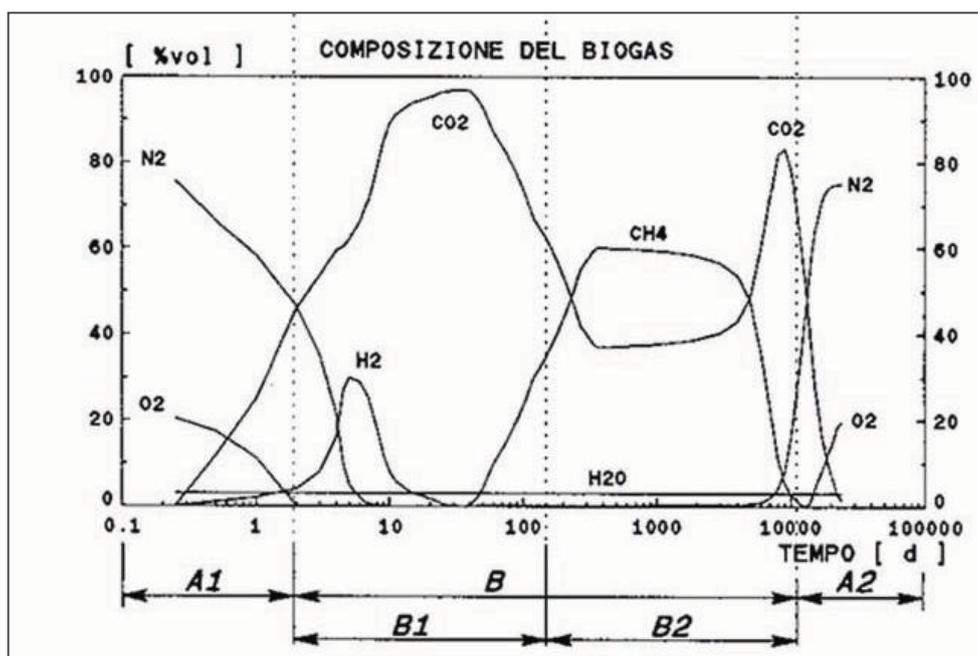



Fig. 9.21 - Particolare del sistema drenante: dreni, pozzo del percolato e pozzetto spia - Fonte: Enrico Magnano – Biogas da discarica – EPC Libri

Di seguito, per dare chiarezza al presente lavoro, le tre fasi sopra elencate sono state trattate in dettaglio.

Fase aerobica

La degradazione aerobica avviene subito dopo il deposito dei rifiuti nello scarico controllato a seguito dell'impiego, da parte dei microrganismi, dell'ossigeno libero. Questo viene prelevato dall'aria inglobata nella discarica durante la deposizione del rifiuto o penetrata dopo la chiusura (ad es. per l'aspirazione eccessiva del sistema di captazione del biogas). Il processo utilizza altresì l'ossigeno disciolto nell'acqua meteorica infiltrata dal capping di chiusura della discarica. Il processo di degradazione aerobica è quindi legato alla disponibilità di ossigeno ed è quindi normalmente di breve durata (da qualche ora ad alcuni mesi) e comunque proporzionale alla tipologia gestionale della discarica. Il fenomeno è inoltre legato alla tipologia dei rifiuti. Nella prima fase il fenomeno è favorito dalla presenza nel rifiuto di sostanze facilmente e rapidamente degradabili. Il processo aerobico è fortemente esotermico (produzione di calore che può raggiungere temperature di 70° C) ed è caratterizzato da emissioni di anidride carbonica, acqua e sostanze organiche parzialmente degradate.

Fase facoltativa anaerobica (acida)

La decomposizione facoltativa anaerobica avviene quando la disponibilità di ossigeno è ridotta al punto in cui non è più possibile un processo aerobico. Gli organismi presenti, definiti facoltativi, prediligono l'ossigeno libero ma, se esso è assente, possono utilizzare l'ossigeno "legato". Caratteristiche di questa fase sono la produzione di anidride carbonica, una minore generazione di energia termica rispetto al processo aerobico e una notevole produzione di sostanza organica parzialmente degradata, la maggior parte della quale è costituita da acidi organici. Detti acidi, con l'anidride carbonica disciolta, si ritrovano inoltre nel percolato a cui conferiscono un certo livello di acidità.

Fase metanigena anaerobica

Lo stadio finale della decomposizione dei rifiuti organici consiste nella decomposizione metanigena anaerobica. In questa fase gli organismi convertono la sostanza organica, parzialmente degradata dagli organismi aerobici facoltativi, in metano ed anidride carbonica. A seguito del consumo dei substrati solubili, la produzione di metano diviene dipendente dall'idrolisi della cellulosa; peraltro detta frazione contiene la più alta quantità di carbonio potenzialmente convertibile in metano. Le caratteristiche di questa fase sono sempre la produzione di energia termica (comunque inferiore rispetto alla fase aerobica), l'utilizzazione di materia organica disciolta, la produzione di metano ed anidride carbonica, nonché l'aumento del pH con valori vicini alla neutralità. Gli effetti della decomposizione metanigena sono quelli che maggiormente interessano il presente testo. Gli studi condotti da numerosi ricercatori hanno accertato che di norma la fase metanigena si instaura dopo un periodo variabile tra i 3 e i 9 mesi dalla deposizione del rifiuto. Una volta avviata la fase metanigena, la produzione di biogas si manifesta, normalmente, per parecchi anni (anche oltre 40), secondo un andamento che evidenzia la massima produzione nei primi anni e un progressivo esaurimento asintotico fino alla completa degradazione della sostanza organica o fino a quando esistono le condizioni ambientali idonee al processo.

Fase conclusiva aerobica

Teoricamente al completamento della fermentazione metanigena, in assenza di sovrapressione, gli interstizi alveolari della discarica tendono ad essere pervasi nuovamente da aria che consentirebbe residui fenomeni fermentativi aerobici.

9.2.4.3.3 Fattori che influenzano la formazione del biogas

La degradazione anaerobica della componente organica dei rifiuti è condizionata dai fenomeni chimici, fisici e biologici precedentemente descritti, esistono comunque numerosi fattori in grado di influenzare positivamente o negativamente il fenomeno descritto. Di seguito si illustrano alcuni di questi fattori influenzanti.

9.2.4.3.3.1 CARATTERISTICHE DEI RIFIUTI

Il primo elenco dei fattori influenzanti è riferibile alle caratteristiche del rifiuto smaltito. Ovviamente nulla è più eterogeneo di un rifiuto e molto spesso è difficile poter disporre di una caratterizzazione tipologica e merceologica precisa. Nelle discariche più moderne, con l’avvento della raccolta differenziata e la presenza di impianti di selezione e recupero a monte della discarica, è molto più facile definire una tipologia dei rifiuti mentre nelle discariche più vecchie o realizzate in Paesi non ancora dotati di specifiche Normative o Regolamentazioni il termine “rifiuto” è molto ampio. Si riportano di seguito alcune caratteristiche dei rifiuti che influiscono sulla produzione di biogas.

Composizione

Ovviamente la merceologia dei rifiuti conferiti è determinante nella fenomenologia produttiva, specialmente la presenza di sostanza organica biogassificabile è alla base del fenomeno. Maggiori dettagli sull’argomento verranno approfonditi nella sezione di valutazione analitica della produttività.

Pezzatura

Le dimensioni delle particelle costituenti la massa eterogenea dei rifiuti possono avere effetti contrastanti sulla metanogenesi. Da una parte, la riduzione della pezzatura aumenta sensibilmente la superficie reattiva e di conseguenza il processo di idrolisi, con effetti potenzialmente molto rilevanti sul tasso di produzione del biogas. D’altra parte, l’esposizione di un’ampia superficie al processo di idrolisi può condurre alla rapida formazione di acidi grassi volatili. Tali acidi possono deprimere il pH a valori tossici per la popolazione batterica metanigena. La riduzione della pezzatura comporta inoltre la diminuzione dell’indice dei vuoti nella massa dei rifiuti con il conseguente aumento della densità, con gli effetti sotto descritti.

Densità

L’effetto della densità sulla produzione di biogas non è stato ancora del tutto chiarito e quantificato. Risulta, infatti, da studi sperimentali, che la densità può avere effetti contrastanti sulla produzione di biogas. Diminuendo la capacità di campo dei rifiuti si tende ad aumentare la diffusione e la distribuzione nella massa di rifiuti dell’umidità e di tutti gli elementi presenti nella fase acquosa (microrganismi, nutrienti ecc.). La superficie totale reattiva della frazione solida diminuisce e pertanto anche la velocità di idrolisi della sostanza organica. In rifiuti secchi, si è riscontrato un aumento della produzione di biogas all’aumentare della densità (Rees J.F. – 1981- Major affecting

methane production in landfills) a differenza di quanto avviene in rifiuti con umidità maggiore. Nei rifiuti secchi probabilmente il primo meccanismo tende a prevalere sul secondo, mentre nei rifiuti umidi, in cui spesso si è già inizialmente in condizioni di saturazione capillare, il primo meccanismo è poco o per nulla influente. In seguito alla compattazione effettuata nelle operazioni di pretrattamento e deposito nello scarico controllato si ha un aumento della densità dei rifiuti a cui si può associare un fenomeno di "spremitura" di parte dell'acqua trattenuta sotto forma di umidità che tende a saturare la massa dei rifiuti. Occorre inoltre considerare che la riduzione della capacità di campo dei rifiuti, a seguito di un incremento di densità, ostacola la trasmissività ai gas degli stessi. In pratica il biogas si sposta con maggiore difficoltà e la captazione forzata è meno efficace. In sintesi è possibile valutare che basse densità (0,3 – 0,5 t/m3) influiscano negativamente sul fenomeno di fermentazione, così come alte densità (> 1,5 t/m3) possano consentire veloci saturazioni da parte dei percolati e difficoltà di trasmissività dei gas. Ne consegue che la densità ideale dovrebbe essere compresa tra 0,5 e 1,5 t/m3. Occorre infine distinguere la densità ottenuta dai trattamenti (compattazione in discarica o pre-compattazione) dalla densità tipica legata alla massa dei rifiuti sovrastanti. Un metro cubo di rifiuti subirà pertanto una prima "compattazione" al momento della deposizione in discarica (oppure l'ha già subita in stabilimento nel caso di balle pre-confezionate) raggiungendo una densità tipica. Tale densità sarà poi incrementata in proporzione al peso dei rifiuti che sovrasteranno lo stesso metro cubo di rifiuti.

9.2.4.3.3.2 UMIDITÀ

L'umidità dei rifiuti all'atto del deposito nello scarico controllato, dipende dalla composizione dei rifiuti, dalle condizioni climatiche e dalle tecniche di raccolta o pre-trattamento. Risulta che i rifiuti di cucina e quelli di giardino hanno il più elevato tasso di umidità, mentre carta e cartoni presentano valori ben più bassi. La maggior parte dell'umidità riscontrabile nelle frazioni cellulosiche deriva dall'assorbimento di acqua dalle altre componenti della miscela di rifiuti, durante il processo di formazione dei rifiuti solidi. La funzione dell'umidità nel processo di metanogenesi è triplice:

- consentire l'attività dei microrganismi;
- creazione di una interfaccia solido-liquido;
- diffusione ottimale nell'ammasso dei microrganismi e dei nutrienti nel substrato idrolizzato.

Numerose esperienze, di laboratorio e sul campo, hanno mostrato un aumento consistente della produzione di biogas all'aumentare dell'umidità; è stato altre sì riscontrato, che una volta stabilizzate la diffusione e l'interfaccia solido-liquido, l'umidità aggiuntiva non ha effetti rilevanti sulla metanogenesi. Successivamente al deposito in discarica, l'umidità dell'ammasso dei rifiuti normalmente varia in funzione dei seguenti fattori:

- ✓ Disponibilità idriche:
    - percolazione acque meteoriche;
    - afflusso acque sotterranee (falde, sorgenti);
    - afflusso acque superficiali di scorrimento dall'esterno;
    - eventuale ricircolo di percolato,
- ✓ Condizioni ambientali:
    - temperatura atmosferica;
    - irraggiamento solare;
    - ventosità della zona.
- ✓ Caratteristiche della superficie di copertura:

- tipologia della stratigrafia del capping (spessori, caratteristiche materiali, pendenze);
- presenza e tipo di vegetazione.

✓ Caratteristiche dei rifiuti:

- densità;
- pezzatura;
- umidità al momento dello smaltimento.

✓ Modalità di impermeabilizzazione del fondo e delle pareti della discarica.

All'atto del conferimento in discarica i rifiuti si trovano normalmente in condizioni insature, e sono quindi in grado di assorbire acqua fino a raggiungere la saturazione capillare, oltre la quale si ha la formazione di percolato. L'acqua assorbita dai rifiuti può essere comunque rilasciata successivamente, negli strati superficiali per evapotraspirazione e negli strati più bassi per azione della compressione. Il contributo, positivo o negativo, dovuto alla produzione o al consumo di acqua, associabile alle diverse reazioni biochimiche di degradazione aerobica e anaerobica della sostanza organica, è limitato e normalmente trascurabile nel bilancio ideologico per una discarica aperta. Quando la discarica viene invece chiusa, specialmente nel caso di stratigrafie di copertura molto efficienti dal punto di vista della riduzione delle infiltrazioni di acqua, la maggior parte delle variabili precedentemente descritte viene quasi annullata e gli elementi di apporto del bilancio ideologico tendono ad azzerarsi. Normalmente in tale fase di post-chiusura il pompaggio e l'allontanamento dei percolati continua ad essere eseguito fino alla riduzione minima dei battenti. A questo punto il consumo di acqua da parte della fermentazione diventa determinante fino ad esaurire quasi completamente le disponibilità e quindi inibire gravemente la fermentazione anaerobica dei rifiuti. Se un settore di discarica viene posto in esercizio nella stagione secca e completato in tempi brevi, vi è la concreta possibilità che l'umidità dei rifiuti non sia sufficiente per un completo sviluppo del fenomeno di produzione di biogas. Studi di laboratorio hanno dimostrato che, in condizioni di bassa umidità, viene prodotta una quantità scarsa o nulla di biogas. Sperimentazioni in campo, condotte su settori di discarica, hanno anch'esse confermato la forte dipendenza della produzione di biogas dall'umidità, riscontrando minori presenze di biogas prodotto dagli ammassi a basso tenore di umidità. Alcune tipologie di discariche, definite "bioreattori", basano proprio sul controllo dell'umidità interna alla discarica l'ottimizzazione della produzione del biogas con lo scopo di anticipare e concentrare il fenomeno in tempi più brevi di quelli "naturali". È quindi definibile che il fattore di umidità interno alla discarica è l'elemento di maggiore importanza nella variabilità della produzione del biogas. Umidità basse (< 30-40%) riducono la fenomenologia produttiva mentre condizioni di saturazione dei rifiuti, oltre ad inibire il fenomeno, ostacolano gravemente lo spostamento e quindi la captazione del biogas.

9.2.4.3.3.3 TEMPERATURA

La produzione di biogas è influenzata dalle temperature all'interno dello scarico controllato, nonché dalle variazioni di queste nel tempo. In condizioni strettamente anaerobiche ed in presenza di un adeguato isolamento termico, le temperature all'interno della massa di rifiuti possono raggiungere anche 30-50°C. Sulla base dell'energia di attivazione, necessaria alla produzione di metano, è stato calcolato che la temperatura ottimale per tale processo è di circa 40°C in quanto legato alla presenza di batteri di gruppo mesofilo. In base al bilancio termico dello scarico controllato è possibile costruire profili termici, che dimostrano come ad una certa profondità, funzione della capacità isolante degli strati deposti, la temperatura all'interno dello scarico controllato non sia più

influenzata dalle condizioni termiche dell'ambiente esterno, ma solo dalla natura esotermica delle reazioni di fermentazione dei rifiuti. È stato inoltre riscontrato che all'aumentare dell'umidità dei rifiuti si ha un aumento dell'energia prodotta dalle reazioni di fermentazione.

9.2.4.3.3.4 CARATTERISTICHE AMBIENTALI

Le caratteristiche ambientali influiscono sul fenomeno di produzione del biogas in funzione della morfologia della discarica. Tanto più una discarica esprime spessori e volumi consistenti minore sarà l'influenza ambientale esterna, discariche di basso spessore (< 10 m) o di limitato volume sono invece più influenzate dalle condizioni al contorno. La caratteristiche ambientali influiscono sui fenomeni precedentemente descritti: pertanto una discarica localizzata in un ambiente tropicale caldo e umido con abbondanti precipitazioni avrà una produzione di biogas più rapida e concentrata nel tempo rispetto ad una discarica localizzata in ambienti freddi e siccitosi.
Ne consegue che i fattori influenzanti sono:

- Temperatura ambientale;
- Umidità relativa dell'aria;
- Precipitazioni;
- Ventosità;
- Insolazione (evapotraspirazione).

9.2.4.3.3.5 CARATTERISTICHE GESTIONALI E COSTRUTTIVE

Anche le caratteristiche gestionali e costruttive della discarica influiscono sul fenomeno di produzione del biogas. Una buona impermeabilizzazione di fondo (naturale, artificiale o mista) consente la raccolta dei percolati e quindi la preservazione dell'umidità necessaria alla fermentazione. La morfologia della discarica evidenzia l'interfaccia con l'atmosfera esterna: una discarica molto esposta (ad esempio un rilevato completamente fuori terra) rappresenta minori produzione di biogas anaerobico rispetto ad una discarica poco esposta (ad esempio una cava riempita di rifiuti). Uno spessore dei rifiuti poco rilevante (< 10 m) aumenta il rischio di infiltrazioni di aria mentre una discarica molto spessa (>40 m) induce a supporre alte densità dei rifiuti negli strati inferiori con conseguenti maggiori rischi di saturazione da parte dei percolati e bassa trasmissività ai gas. Anche la gestione del rifiuto è determinante nel processo di fermentazione: una buona compattazione eseguita frequentemente riduce la capacità di campo dei rifiuti e quindi la presenza di aria negli stessi accorciando il fenomeno di fermentazione aerobica e preservando una maggiore quantità di carbonio per la successiva fase anaerobica. La copertura dei rifiuti contribuisce a ridurre l'interfaccia con l'atmosfera e quindi a ridurre la fase fermentativa aerobica, ovviamente la qualità della copertura è proporzionale alla tipologia del materiale ed allo spessore dello stesso. Nel caso di discariche vecchie o realizzate in paesi con tecnologie non ancora ottimali è possibile incorrere in "usi gestionali" particolari, di notevole influenza, sul fenomeno produttivo del biogas. Si pensi alla pratica della combustione volontaria a cielo aperto dei rifiuti che riduce inevitabilmente la presenza di sostanza organica (in particolare cellulosica) dalla massa dei rifiuti, oppure alla presenza di ricercatori (waste peckers) di rifiuti che tendono a sottrarre alcune categorie di rifiuti (in particolare carta e cartone) interessate dalla fermentazione.

9.2.4.3.4 Captazione e trattamento

Al fine di evitare dispersioni nel sottosuolo e nell'aria con diffusione di odori molesti e danni alla vegetazione circostante, nonché alla salute umana, il biogas viene raccolto mediante un'apposita

rete di captazione che viene costruita contestualmente al procedere dell'attività di abbancamento dei rifiuti. Tale rete si compone di una serie di pozzi verticali di aspirazione dai quali si dipartono a raggiera delle tubazioni fessurate disposte orizzontalmente in modo da raggiungere tutto il corpo della discarica. I pozzi sono posizionati ad una distanza variabile tra 10 e 15 m in funzione della profondità della discarica. La pressione alla quale sono sottoposti i gas all'interno del corpo della discarica, ne permette la raccolta e l'aspirazione.

Il sistema deve:

- assicurare una uniforme fuoriuscita del biogas;
- evitare emissioni di ossigeno;
- consentire la regolazione e la portate costante dei vari adduttori.

Le immagini seguenti riportano la sistemazione ed organizzazione dell'impianto di captazione e combustione del biogas all'interno della discarica, nonché le aree di influenza dei pozzi di aspirazione che lo compongono ed un dettaglio di un pozzo tipo.

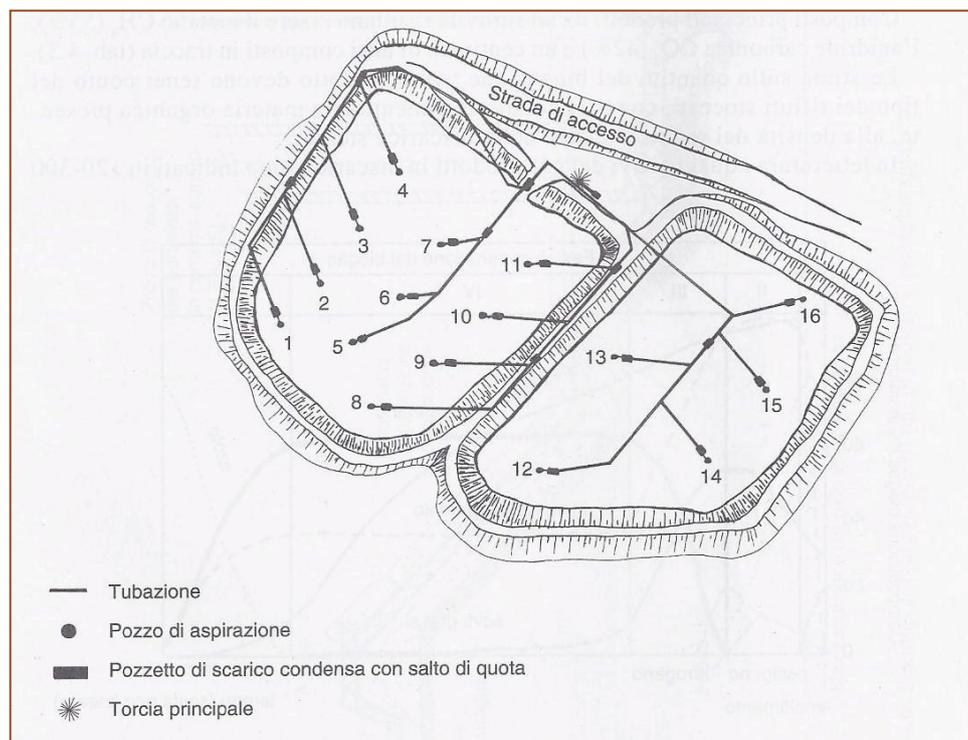



Fig. 9.21- Planimetria relativa all'impianto di captazione e combustione del biogas
Fonte: Sonia Gervasoni –Discariche Controllate – HOEPLI 2004

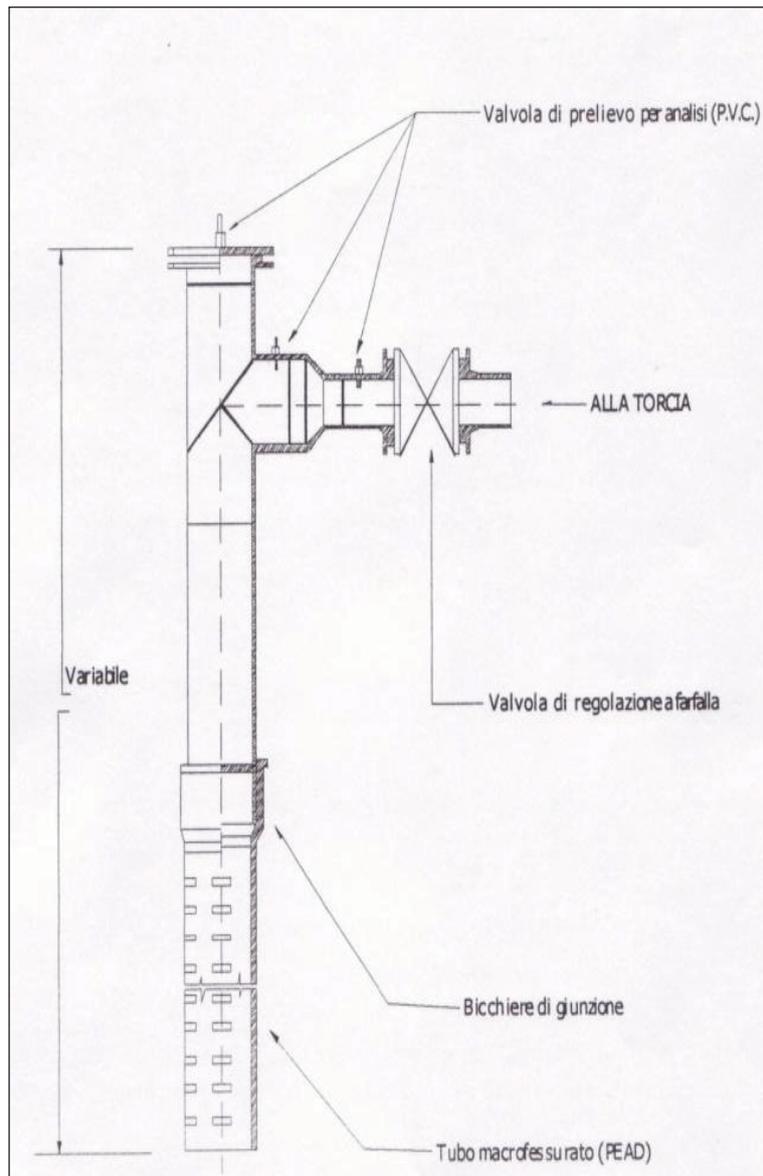



Fig. 9.22 - Pozzo tipo di aspirazione del biogas

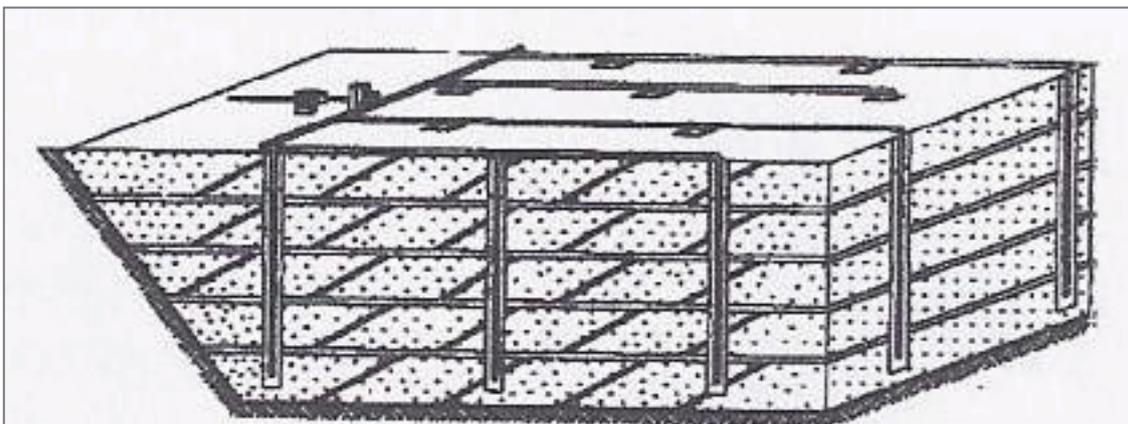



Fig. 9.23 - Aspirazione del biogas con pozzi verticali annegati all'interno dell'ammasso rifiuti

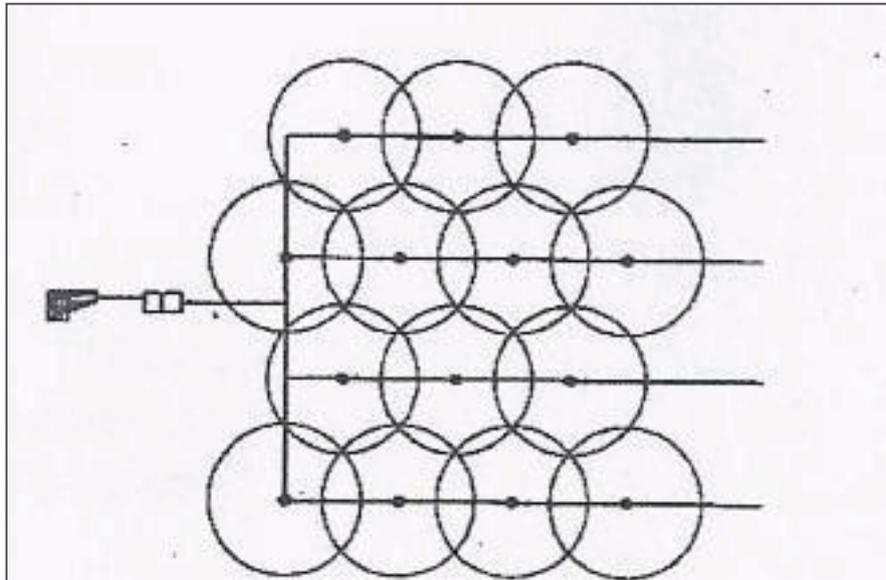



Fig. 9.24 - Sezione orizzontale di un impianto-discarica con evidenza del posizionamento dei pozzi di aspirazione del biogas con le relative aree di azione.

Il biogas così raccolto viene convogliato, tramite un collettore principale, all'impianto di produzione di energia elettrica; questo è costituito da gruppi elettrogeni (motori a combustione interna) e da trasformatori BT/MT. Il gas aspirato è inviato, in lieve pressione, ai motori, che, generalmente, sono accoppiati a generatori sincroni trifase. L'energia elettrica prodotta in bassa tensione è elevata in media tensione utilizzando le comuni apparecchiature di trasformazione-elevazione, e veicolata alla rete di distribuzione. In molti casi, oltre al motore, questi impianti sono dotati anche di un sistema di recupero del calore ai fini della produzione contemporanea di elettricità e calore, in regime di cogenerazione.
Il sistema prevede altresì una torcia ad alta temperatura: questa rappresenta un dispositivo di cui ogni discarica deve essere dotata per bruciare il biogas prodotto. In particolare, essa viene attivata nel caso in cui la portata di biogas estratto dalla discarica sia superiore al fabbisogno energetico massimo dei gruppi di generazione, o in caso di mancato funzionamento dei gruppi elettrogeni.
A chiarimento, si riporta di seguito uno schema esemplificativo dell'impianto di aspirazione e trattamento del biogas.

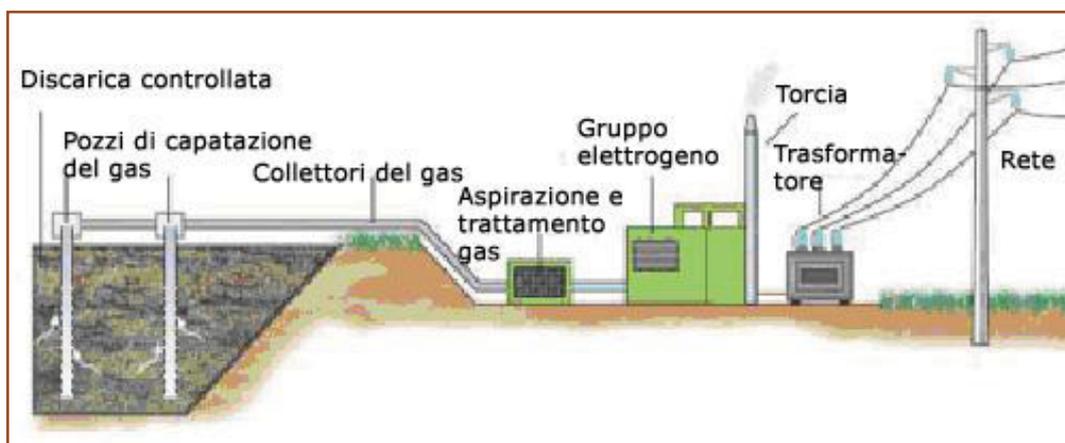



Fig. 9.25- Schema dell'impianto di aspirazione e trattamento del biogas

9.2.4.3.5 Aspetti dell'inquinamento da biogas

9.2.4.3.4.1 INTRODUZIONE AL TEMA

Nella pratica comune il biogas, che si produce in un discarica controllata a causa della fermentazione della sostanza organica, viene aspirato attraverso la rete del sistema di raccolta, trattato e bruciato sul posto mediante torcia con o senza impianto di cogenerazione. Nel caso di mancanza del sistema di aspirazione o in caso di un suo difettoso funzionamento, il biogas può fuoriuscire dalla discarica per altre vie non controllate e diffondersi nell'ambiente circostante.
In presenza, quindi di discontinuità della geomembrana di confinamento dei rifiuti, il biogas può diffondersi nel terreno circostante l'impianto, e da questo, disperdersi nell'aria attraversando i livelli del terreno di copertura più permeabili, oppure, se costretto dalla presenza di livello di terreno più impermeabili, migrare anche ad una distanza molto elevate rispetto al sito di origine.
Il raggiungimento di alti valori di concentrazione di biogas in spazi chiusi può dar luogo a fenomeni di infiammazione e/o esplosione.

9.2.4.3.4.2 EFFETTI SULL'AMBIENTE

Le conseguenze ambientali della dispersione di biogas da una discarica possono variare notevolmente per tipologia e per gravità, passando dal fastidio dovuto all'odore ai danni subiti dalla vegetazione e dalla popolazione. In particolare si può verificare:

- la presenza di cattivi odori persistenti fino ad alcuni chilometri dall'impianto, particolarmente molesti per la popolazione residente nelle immediate vicinanze;
- la sofferenza della vegetazione, nell'area circostante la discarica, che tende ad assumere un aspetto giallognolo e secco. Tale indizio è un comune e precoce indicatore di una significativa migrazione di gas ed è la risposta, da parte della pianta, allo stato di asfissia dovuto alla carenza di ossigeno nella zona radicale;
- termogenesi, ossia presenza di temperature anomale, anche superiori a 60 °C, misurate sia all'interno della discarica che nei terreni ad essa circostanti, a causa dell'ossidazione della materia organica e/o del metano da parte dei batteri;
- il rischio per la salute pubblica dovuto alla presenza, nel biogas, di alcuni costituenti in traccia classificati tossici, carcinogeni e mutageni, rilevati specialmente nei biogas prodotti in discariche di rifiuti industriali;
- la possibilità di innesco di incendi e/o di esplosioni in locali interrati a causa dell'accumulo in tali serbatoi del biogas fuoriuscito dalla discarica. Questo accumulo è dovuto alle caratteristiche geomorfologiche, geologiche e strutturali dell'area circostante il sito;
- la possibilità, entrando in luoghi chiusi, di assopimento e perdita della conoscenza dovuti alla concentrazione di biossido di carbonio e alla riduzione della quantità di ossigeno disponibile nell'aria.

9.2.4.3.6 Dati sulla produzione di biogas in Sicilia

Per quanto riguarda lo smaltimento del biogas nelle discariche in esercizio, risultano 3 le discariche che utilizzano il biogas ai fini della produzione ed immissione in rete di energia elettrica con sistema di cogenerazione termica, 4 quelle dotate solo di torce per la semplice combustione del gas, mentre negli altri impianti la dispersione del biogas è libera. Va evidenziato a questo proposito che il decreto legislativo 36/2003 prevede di norma l'utilizzazione del biogas captato dai pozzi per la produzione di energia; nel caso di impraticabilità del recupero energetico, la termodistruzione deve

avvenire in idonea camera di combustione a T > 850°C, con concentrazione di O_2 > 3% in volume e tempo di ritenzione > 0,3s. In ogni caso il biogas captato non può essere scaricato in atmosfera.

Tabella 9.12 - Captazione e smaltimento del biogas nelle discariche siciliane nell'anno 2009

Discarica		Quantità anno 2009 (mc)	Modalità di trattamento		
Comune	Località		recupero energetico	dispersione libera	combustione in torce
Siculiana	Materano	2.200.000			✘
Sciacca	Salinella			✘	
Gela	Timpazzo				✘
Motta S. A.	Tiriti	6.910.138	✘		
Catania	Grotte S. G.	9.743.620	✘		
Enna	Cozzo Vuturo				✘
Palermo	Bellolampo	27.289.688	✘		
Partinico	Baronia			✘	
Castellana S.	Balza di Cetta			✘	
Ragusa	Cava dei Modicani			✘	
Vittoria	Pozzo Bollente			✘	
Augusta	Coste di Gigia	4.166.750			✘
Campobello di M.	Campana Misiddi			✘	
Trapani	Borranea			✘	

Fonte: ARPA Sicilia – Sezione Regionale del Catasto Rifiuti

CAPITOLO 10 - La metodologia LCA

10.1 Le origini e lo sviluppo della metodologia LCA

E' opinione comune il pensare che l'approccio di tipo ciclo vita ai problemi ambientali, che possiamo definire come (Environmental) Life Cycle Thinking, sia un'idea recente e del tutto innovativa. In realtà, le sue origini possono essere collocate verso la fine degli anni 60. Alcuni ricercatori, che incominciavano a occuparsi con approccio scientifico del problema del consumo di risorse (con particolare riferimento a quelle non rinnovabili) e della generazione di reflui nei processi industriali, si resero conto che l'unica strada efficace per studiare in maniera completa i sistemi produttivi da un punto di vista ambientale era quella di esaminarne le prestazioni seguendo passo per passo il cammino percorso dalle materie prime, a partire dalla loro estrazione, attraverso tutti i processi di trasformazione e di trasporto fino al loro ritorno alla terra sotto forma di rifiuti. Ed è lo slogan "from cradle to grave" e cioè "dalla culla alla tomba", a prendere piede per illustrare sinteticamente i contenuti della metodologia che a poco a poco prende forma: quella dell'analisi del ciclo di vita. Questo approccio costituisce per quel tempo un assoluta novità, dal momento che nello studio inteso a migliorare le prestazioni energetiche e ambientali di un sistema industriale veniva presa in considerazione l'intera filiera produttiva, mentre fino ad allora, chiaramente, i miglioramenti dell'efficienza erano stati costantemente ricercati concentrando l'attenzione sui singoli componenti dei processi produttivi. Non ci si era preoccupati, quindi, del fatto che spesso i miglioramenti ottenuti analizzando separatamente i singoli processi produttivi potessero essere solo apparenti. Una singola operazione industriale si può rendere più efficiente, o "più pulita", a spese di altre, semplicemente trasferendo l'inquinamento nello spazio o nel tempo, trascurando il fatto che i benefici ottenuti localmente possono essere controbilanciati dai problemi che di conseguenza si generano altrove (o più avanti nel tempo), con il risultato finale di non ottenere nessun reale miglioramento o addirittura di peggiorare il bilancio complessivo. Da un punto di vista generale, l'approccio LCA era inoltre completamente diverso da quello adottato dagli economisti per descrivere i processi industriali che, tradizionalmente, prevede la suddivisione dell'industria in settori (estrattivo, tessile, delle costruzioni ecc.). L'approccio LCA è invece concentrato sull'analisi del soddisfacimento delle funzioni proprie di ogni settore produttivo o dei servizi e dunque, per definizione, trasversale. A partire dall'inizio degli anni 70 è possibile trovare i primi esempi di applicazione della teoria Life Cycle Thinking, utilizzata come supporto alle decisioni soprattutto da parte di alcune grandi aziende statunitensi, dall'Agenzia per la protezione dell'ambiente americana (EPA, Environmental Protection Agency), nonché da alcuni produttori inglesi di bottiglie. Nel caso delle ricerche nord americane, si trattava di studi svolti sotto il nome di REPA, Resource and Environmental Profile Analysis (o, anche più semplicemente, resource analysis), che avevano come obiettivo la caratterizzazione del ciclo di vita di alcuni materiali impiegati in importanti produzioni industriali. Lo scopo era quello di confrontare diversi materiali per medesime applicazioni ed è certamente questa l'opportunità che ha fatto crescere il numero di applicazioni della LCA ai sistemi produttivi: confrontare da un punto di vista ambientale funzioni equivalenti con l'utilizzo di soluzioni e materiali diversi. A quel tempo era già chiaro uno dei principi basilari della metodologia LCA: non aveva alcun significato paragonare in assoluto materiali diversi tra loro, ma solamente funzioni che potevano essere realizzate, a parità di prestazioni, utilizzando materiali alternativi. Tra le molte ricerche REPA prodotte nel periodo tra la fine degli anni 60 e l'inizio degli anni 70, merita

ricordare quelle commissionate dalla Coca Cola Company e dalla Mobil Chemical Company al Midwest Research Institute (USA):

- la prima intendeva determinare le conseguenze ambientali della produzione di diversi tipi di contenitori per bevande allo scopo di identificare quale materiale (plastica, vetro, acciaio o alluminio) e quale strategia di impiego a fine vita del contenitore (a perdere o a rendere) fosse energicamente ed ecologicamente migliore;
- la seconda puntava a stabilire se i fogli in polistirene utilizzati per incartare prodotti alimentari fossero più o meno ecocompatibili dei concorrenti fogli di carta.

Oltre ad aver introdotto l'idea di valutare implicazioni ambientali lungo tutto il ciclo di vita dei processi considerati, la metodologia REPA introduceva la valutazione dell'energia intesa come appartenente alla categoria delle risorse naturali, e di conseguenza stimolava l'attenzione verso il concetto di limitatezza delle risorse naturali nel loro complesso. È estremamente curioso notare come questo genere di confronto sia oggi del tutto attuale e applicato in altre parti del mondo in molteplici settori del packaging alimentare, a dimostrazione del rinnovato interesse nell'individuare soluzioni che rendano il settore ecocompatibile, ma anche mezzo di comunicazione e di educazione alle buone pratiche ambientali, essendo tra i pochi in grado di arrivare in tutte le case dei cittadini.
All'epoca degli studi citati, le crisi petrolifere non erano ancora esplose, ma la consapevolezza che si stavano sfruttando a ritmi sempre più elevati risorse energetiche limitate era già sufficientemente sviluppata, tanto da indurre studiosi e ricercatori del mondo accademico e industriale ad affrontare temi riguardanti lo sfruttamento delle risorse e i conseguenti effetti sull'ambiente.
In seguito, gli allarmi lanciati da molti scienziati su questi temi (massicci consumi di risorse non rinnovabili e preoccupanti livelli di inquinamento), la pressione dell'emergente movimento ambientalista e ciò che concretamente succedeva in quel periodo (crisi energetiche e problema crescente della destinazione dei rifiuti), hanno dato una spinta determinante all'impegno comune per la messa a punto sia di metodologie sia di strumenti che potessero in qualche modo correggere l’approccio della teoria economica classica a questo tipo di fenomeni, portando, verso la metà degli anni 80, all'affermazione del concetto di sviluppo sostenibile.
Considerato che non esistono processi produttivi (e quindi prodotti) a costo energetico e ambientale nullo, la strada da percorrere è quella di comprendere il funzionamento di tali processi per poi essere in grado di proporre azioni di miglioramento.
Nello stesso periodo, in Europa, veniva pubblicato il manuale di analisi energetica di Boustead e Hancock che, a partire dall'esperienza citata coi produttori inglesi di bottiglie, è stato in grado di offrire per la prima volta una descrizione di carattere operativo del procedimento analitico che è da considerare parte fondamentale della LCA attuale. Questo manuale è tuttora da più parti segnalato come una delle pietre miliari nella storia della metodologia LCA e non è raro trovare tra le sue righe i primi richiami alla necessità di un approccio integrato di ciclo vita per tenere effettivamente sotto controllo i rendimenti dei sistemi industriali, sia in termini energetici sia in termini più squisitamente ambientali. Da quel momento in poi, la messa a punto della metodologia LCA ha ricevuto un grande impulso in quanto è apparso chiaro come l'approccio di tipo REPA o "analisi energetica" (EA), con le dovute integrazioni e miglioramenti, fosse quello che meglio si prestava a supportare le attività produttive nella nuova interpretazione del concetto di sviluppo.
Il termine LCA, in effetti, venne coniato solo durante il congresso SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) a Smuggler Notch (Vermont, U.S.A.) del 1990, proprio per meglio caratterizzare l'obiettivo delle analisi fino ad allora svolte sotto altri nomi.

L'organizzazione originaria di una LCA, secondo lo schema proposto dalla SETAC, comprendeva tre fasi principali da attuare successivamente e ciclicamente. Tale organizzazione, che costituisce anche la struttura fondamentale della metodologia attuale, è composta da una prima fase di inventario, in cui le informazioni e i dati raccolti vengono organizzati e convertiti in forma standard per fornire una descrizione completa delle caratteristiche fisiche del sistema produttivo oggetto dello studio (e cioè il modello analogico del sistema); una successiva fase di interpretazione, dove i dati fisici dell'inventario sono correlati a problemi di carattere ambientale; infine da una fase di miglioramento, in cui il sistema produttivo è oggetto di campagne di simulazione per cercare di migliorare la sua efficienza complessiva.
Già durante questo primo periodo di messa a punto della metodologia, il termine ecoefficienza veniva utilizzato per misurare i rendimenti energetici e ambientali del processo a produttivo oggetto dell'indagine.
Le numerose iniziative per la standardizzazione della metodologia LCA hanno di conseguenza incominciato a concretizzarsi nei primi anni 90 con la pubblicazione di manuali e testi specifici, di strumenti di calcolo e di banche dati per un suo impiego pratico; strumenti oggi diffusi e utilizzati da gran parte dei ricercatori e degli operatori del settore.
Arrivando ai giorni nostri, la LCA non solo riscuote sempre maggiore consenso, ma si sta decisamente affermando come strumento di calcolo del carico ambientale dei sistemi produttivi consentendo, grazie alle numerose applicazioni ed esperienze, di aumentare il grado di diffusione dei temi qui affrontati. E' ormai chiaro come la Commissione europea consideri l'approccio LCA come unico in grado di fornire una base scientifica per comprendere il carico ambientale di prodotti e processi in ottica complessiva. Già solo il fatto che alla base della costruzione dei criteri Ecolabel vi sia questo approccio ne dimostra la valenza e l'applicabilità nel supportare l'orientamento dei consumatori verso scelte di eccellenza ambientale.
A livello industriale poi, tutte le più importanti associazioni industriali di categoria a livello europeo o mondiale hanno già divulgato o stanno sviluppando banche dati per mettere a disposizione informazioni sul ciclo vita dei materiali o processi che rappresentano, agevolando sia la comunicazione istituzionale sia gli analisti che necessitano di dati quantitativi per completare i propri studi. Tra queste vale la pena citare:

- BWA (Bitumen Waterproofing Association);
- EAA (European Aluminum Association);
- EGGA (European GeneraI Galvanizing Association);
- ICA (International Copper Association);
- IEA (Iriternational Energy Agency);
- IISI (International Iron and Steel Institute);
- IZA (International Zinc Association);
- PlasticsEurope (Association of Plastics Ma-nufacturers in Europe).

Sempre in questo ambito, il Joint Research Centre (JRC) con sede a Ispra (Varese) sta guidando la costruzione di una banca dati pubblica per studi LCA (la "European Re-ference Life Cycle Database" all'interno della "European Platform on LCA", disponibile sul sito http://lca.jrc.ec.europa.eu) molto articolata e soggetta a continui aggiornamenti che può costituire un buon riferimento; tra le varie particolarità, vale la pena segnalare che tutti i moduli di questa banca dati sono soggetti a una procedura di controllo e verifica che il JRC sta mettendo a punto con

il Cesisp (Centro interuniversitario di ricerca per lo sviluppo della sostenibilità dei prodotti).
A livello nazionale, infine, dopo l'esperienza di Anpa (Agenzia nazionale per la protezione dell'ambiente, poi Apat, ora Ispra) con la realizzazione della banca dati italiana I-LCA, pubblicata nel 2000 nell'ambito delle iniziative dell'Unità per la Qualità ecologica dei prodotti (che è stata una delle poche attività in questo settore gestite a livello pubblico), c'è da rilevare un'intensa attività svolta sia a livello aziendale sia nell'ambito di progetti di ricerca finanziati in gran parte dalla Commissione europea.

10.2 - La struttura di una LCA

Da un punto di vista metodologico, la definizione di LCA proposta originariamente dalla SETAC definiva: "una LCA è un procedimento oggettivo di valutazione dei carichi energetici e ambientali relativi ad un processo o un'attività, effettuato attraverso l'identificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente. La valutazione include l'intero ciclo di vita del processo o attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale". La definizione specifica riportata nella norma ISO 14040 esprime la LCA come una "compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita dei flussi in entrata e in uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema di prodotto". Una LCA applicata a un sistema industriale indirizza, dunque, lo studio di efficienza del sistema in oggetto verso la salvaguardia della salute dell'ambiente e dell'uomo nonché verso il risparmio delle risorse. Punto fondamentale della teoria è la definizione di "sistema industriale", che la norma ISO qualifica, come "sistema di prodotti". Con sistema industriale si intende un insieme di procedure, la cui funzione principale è la produzione di beni utili; esso è separato al sistema ambiente da confini fisici ben definiti ed è ad esso collegato grazie allo scambio di input e di output. In quest'ottica, l'ambiente non è quindi quello naturale definito dall'ecologia, ma è tutto ciò che sta all'esterno del sistema industriale considerato. Secondo questa impostazione risulta chiaro come gli input del sistema siano parametri che intervengono nel dibattito sui problemi di risparmio delle risorse, mentre gli output riguardano i problemi di inquinamento. È allora logico affermare che, più che descrivere il prodotto, una LCA descrive il sistema che lo genera o, in altre parole, la funzione del sistema stesso. Le norme ISO parlano allora di product system per indicare "l'insieme elementare di unità di processo connesse tra loro per quanto riguarda materia e energia, che perseguono una o più funzioni definite" e, pertanto, per porre un forte accento sull'importanza dei prodotti all'interno di un qualunque sistema di processi o di servizi.
Il modello analogico del sistema oggetto di indagine in una LCA risulta sempre essere una semplificazione della realtà, poiché, come tutti i modelli operativi non include una rappresentazione completa delle interazioni con l'ambiente ma solamente quelle ritenute più significative. L'importante è poter eseguire campagne di simulazione in maniera affidabile ed efficace in modo da progettare il miglioramento del sistema indagato.
Da quanto detto appare inoltre chiaro come questo tipo di metodologia risulti particolarmente adatto anche per analizzare in termini diversi l'interazione tra azienda e ambiente, dal momento che comprende la sfera della produzione, quella della distribuzione e quella dell'utilizzazione.
E' legittimo quindi sostenere che l'affermazione di questa tecnica come strumento strategico innovativo a livello industriale sia cominciata offrendo un valido metro di confronto tra diverse produzioni, divenendo supporto d'immagine per i processi produttivi a impatto ambientale più

limitato. Intesa come tecnica di management energetico-ambientale, sia a livello di gestione dell'attività industriale sia a livello amministrativo, la LCA si propone infine validamente come nuovo supporto per le tecniche ormai già consolidate, quali la valutazione di impatto ambientale e l'analisi di rischio. La struttura moderna della LCA proposta dalla norma ISO 14040 è sintetizzabile in quattro momenti principali:

1. **Definizione degli scopi e degli obiettivi** (*Goal and Scope Definition*): è la fase preliminare in cui vengono definiti le finalità dello studio, l'unità funzionale, i confini del sistema studiato, il fabbisogno e l'affidabilità dei dati, le assunzioni e i limiti;
2. **Analisi di inventario** (*Life Cycle Inventory Analysis*, LCI): è 1a parte del lavoro dedicata allo studio del ciclo di vita del processo o attività; lo scopo principale è quello di ricostruire la via attraverso cui il fluire dell'energia e dei materiali permette il funzionamento del sistema produttivo in esame tramite tutti i processi di trasformazione e trasporto. Redigere un inventario di ciclo vita significa pertanto costruire il modello analogico del sistema reale che si intende studiare;
3. **Analisi degli impatti** (*Life Cycle Impact Assessment*, LCIA): è lo studio dell'impatto ambientale provocato dal processo o attività, che ha lo scopo di evidenziare l'entità delle modificazioni generate a seguito dei rilasci nell'ambiente e dei consumi di risorse calcolati nell'inventario. È questa la fase, in cui si produce il passaggio dal dato oggettivo calcolato durante la fase di inventario al giudizio di pericolosità ambientale;
4. **Interpretazione e miglioramento** (*Life Cycle interpretation*): è la parte conclusiva di una LCA, che ha lo scopo di proporre i cambiamenti necessari a ridurre l'impatto ambientale dei processi o attività considerati, valutandoli in maniera iterativa con la stessa metodologia LCA in modo da non attuare azioni tali da peggiorare lo stato di fatto.

Questi diversi momenti di analisi costituiranno il punto di riferimento per gli interventi su un processo di produzione esistente o per il progetto di un nuovo prodotto.
Prima di illustrare nel dettaglio le varie fasi elencate, occorre ripetere che l'approccio metodologico è per sua natura di tipo dinamico e iterativo e, come si intuisce, la parte fondamentale è quella della disponibilità dei dati e delle informazioni necessarie allo sviluppo dei calcoli.
Via via che si approfondisce l'ana1isi, nuovi dati potranno poi sostituire o aggiornare i vecchi, richiedendo la revisione dei calcoli stessi.
La cosiddetta LCA semplificata (streamlining), di cui spesso si discute a livello di convegni e seminari, vorrebbe in qualche modo proporre una ricetta per velocizzare gli studi di LCA sostanzialmente attraverso dei tagli sul sistema analizzato.
Tuttavia L'esclusione a priori di talune operazioni dal sistema analizzato rimane un argomento delicato e su cui non è possibile generalizzare.
Osserviamo infine che, data la gran mole di dati in gioco e per soddisfare le esigenze di ciclicità dell'analisi, in ogni caso, per l'elaborazione dei dati è indispensabile utilizzare strumenti di tipo informatico. Gli specifici modelli informatici di analisi e le banche dati presenti oggigiorno sul mercato costituiscono, quindi, parte integrante della strumentazione necessaria per affrontare una LCA.

Il diagramma, di cui alla pagina seguente, schematizza il funzionamento di uno studio di LCA al fine di capirne le fasi salienti e renderne più facile la comprensione.

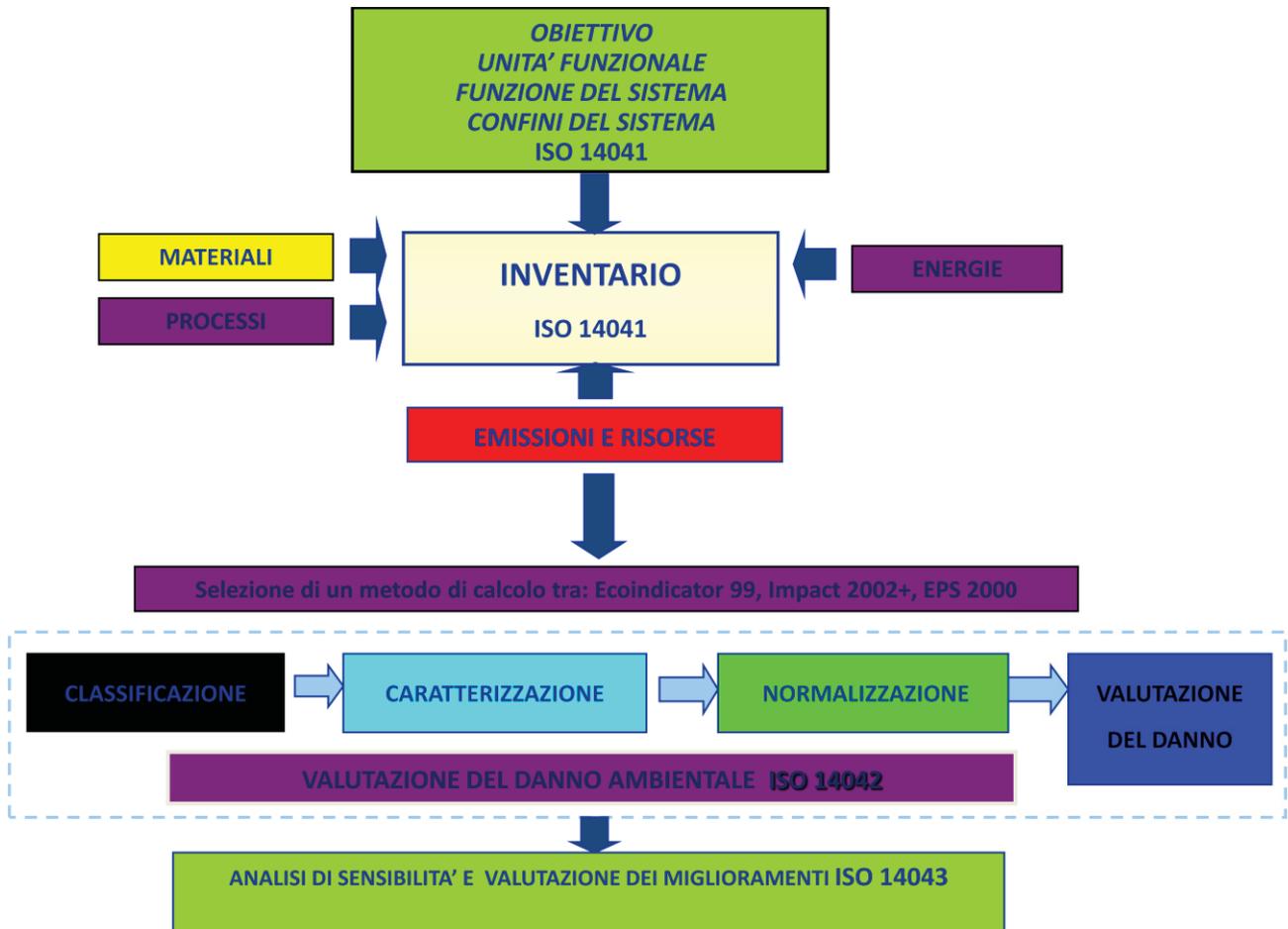



Fig. 10.1 - Rappresentazione grafica schematica di una discarica controllata)

10.2.1 Prima fase di una LCA: definizione degli scopi e degli obiettivi

Una LCA deve essere necessariamente preceduta da un'esplicita dichiarazione degli obiettivi e delle finalità dello studio. Vediamo perché questa fase costituisce un momento importante di pianificazione.

Da un punto di vista normativo, la ISO 14040 introduce così l'argomento:

"Gli obiettivi e gli scopi dello studio di una LCA devono essere definiti con chiarezza ed essere coerenti con l'applicazione prevista. L'obiettivo di una LCA deve stabilire senza ambiguità quali siano l'applicazione prevista, le motivazioni che inducono a realizzare lo studio e il tipo di pubblico a cui è destinato, cioè a quali persone si intendono comunicare i risultati dello studio".

E' evidente come le finalità dello studio influenzino notevolmente le scelte e le ipotesi di lavoro, in quanto, a seconda delle motivazioni, del pubblico a cui è destinato, delle risorse a disposizione e delle aspettative riposte nei risultati, possono risultare scenari anche molto diversi tra loro.

Tra le caratteristiche fondamentali di una LCA fortemente dipendenti dalle finalità è possibile citare:

l'ampiezza del ciclo di vita, le eventuali alternative da considerare, l'integrazione con aspetti non ambientali, la qualità e affidabilità dei dati a disposizione, la scelta dei parametri ambientali con cui riassumere i risultati, l'estensione della fase di valutazione e di miglioramento, il livello di dettaglio a cui arrivare.
Una strategia a medio periodo è dunque raccomandabile per rendere complementare un'analisi LCA con la politica ambientale e di sviluppo dell'organizzazione che intraprende questo tipo di azioni; in generale, è possibile ricondurre il campo di applicazione di uno studio LCA alle seguenti finalità:

- ricerca & sviluppo;
- green marketing (etichettatura ecologica, comunicazione dei sistemi di gestione ambientale ecc.);
- supporto nei sistemi di gestione ambientale (per appoggiare azioni di miglioramento della "filiera");
- ecodesign (progettazione ecocompatibile).

E' conveniente approcciare il problema sfruttando una strategia preliminare che consente di definire i confini della ricerca e quindi quelli del sistema oggetto dello studio, nonché di esprimere i risultati in maniera opportuna. Nulla vieta, in un secondo momento, di estendere il campo di applicazione, mettendo chiaramente in conto un ampliamento delle risorse preventivate.

10.2.1.1 DEFINIZIONE DEL SISTEMA

Nell'ottica LCA si è visto che viene definito "sistema" un qualsiasi insieme di dispositivi che realizzano una o più precise operazioni industriali aventi una determinata funzione; esso è delimitato da appropriati confini fisici rispetto al sistema ambiente e con questo ha rapporti di scambio caratterizzati da una serie di input e output.
Si cominci dal caso più generale possibile di un sistema industriale di tipo globale, intendendo con questo un sistema i cui input consistono tutti in materie prime e in energia primaria (energia solare compresa) e i cui output in reflui (calore disperso, emissioni in acqua e in aria, rifiuti solidi) che ritornano al sistema ambiente (o biosfera). Si tratta di un sistema al cui interno sono presenti tutti i protagonisti dei processi di trasformazione intesi in senso lato: dai produttori agli utenti, attraverso i prodotti finali.
E' questo il caso in cui si è anche soliti parlare di "sistema reale di ciclo vita" poiché tra i suoi output non esistono prodotti utili ma solamente sostanze reflue: prendendo spunto da questa definizione è di conseguenza possibile estendere il concetto "dalla culla alla tomba" a quello "dalla culla alla culla".
Per effettuare un inventario di ciclo vita di un sistema di questo genere è pertanto necessario definire in primo luogo le singole, operazioni che lo compongono in qualità di "operazioni unitarie": ognuna di queste operazioni unitarie riceve i propri input dalle operazioni unitarie a monte, mentre i suoi output serviranno ad alimentare quelle seguenti, secondo l'effettivo schema di produzione. Anche se più difficile da immaginare, è bene comprendere come questo schema non sia lineare ma funzioni in modalità di network, in grado cioè di scambiare massa ed energia con altri componenti del sistema in maniera interdipendente.
In condizioni stazionarie, il comportamento di un'operazione unitaria è indipendente sia dalle operazioni che a monte la precedono e le forniscono gli input, sia da quelle a valle che ne ricevono gli output. Di conseguenza, tale comportamento può essere analizzato senza riferimento alle altre operazioni unitarie contenute nel sistema complessivo.

Questa considerazione è importante proprio perché non sempre si analizzano sistemi globali, ma è spesso opportuno limitare l'analisi a parti di essi, cioè a sottosistemi produttivi.
La definizione dei sottosistemi o delle operazioni unitarie avviene in base alla funzione loro assegnata all'interno del sistema globale e, in pratica, dipende dal grado di dettaglio raggiungibile con le informazioni a disposizione, con i dati raccolti e con i limiti di tempo imposti per terminare lo studio. L'analisi di un singolo sottosistema, anche per distinguerla da quella del sistema globale, viene di solito definita col termine "ecobilancio". L'ecobilancio si differenzia pertanto dalla LCA essenzialmente per i confini del sistema indagato. In altre parole, si può intendere la LCA come un insieme di ecobilanci collegati opportunamente tra di loro. Come sarà possibile approfondire nel seguito di questo capitolo, definire i confini del sistema significa determinare le unità di processo che devono essere prese in considerazione dallo studio. Tali unità devono essere esplicitamente elencate per evitare, ad esempio, di paragonare sistemi che solo apparentemente sono confrontabili.

10.2.1.2 DEFINIZIONE DELL'UNITÀ FUNZIONALE

Veniamo ora all'altra operazione preliminare da effettuare prima di procedere all'inventario. È importante definire, fin dall'inizio dello studio, un'unità di misura di riferimento, chiamata "unità funzionale", con cui trattare ed esporre i dati e le informazioni di una LCA.
"L'unità funzionale costituisce una misura della prestazione del flusso in uscita funzionale del sistema prodotto. Lo scopo principale dell'unità funzionale è di fornire un riferimento a cui legare i flussi in entrata e in uscita. Questo riferimento è necessario per consentire la comparabilità dei risultati di una LCA. Tale comparabilità è particolarmente critica quando si valutano sistemi differenti, perché ci si deve assicurare che i confronti siano fatti su una base analoga. Un sistema può avere un gran numero di funzioni possibili e la funzione scelta per lo studio dipende dall'obiettivo e dal campo di applicazione. La corrispondente unità funzionale deve essere definita e misurabile" (ISO 14040).
La scelta di tale unità è arbitraria e dipende essenzialmente dallo scopo per cui il sistema globale e i sottosistemi, ad esso collegati, sono stati progettati, e può essere intesa come un indice delle prestazioni svolte dal sistema, ovvero del servizio reso all'utilizzatore.
La sua definizione risulta quindi fondamentale sia per la buona riuscita dello studio, sia per una migliore comprensione delle informazioni che lo studio è in grado di fornire. Questa unità è stata creata anche perché le unità di misura normalmente utilizzate, come la massa, il numero di pezzi, il volume ecc. non sono sempre adeguate a rappresentare il rendimento (energetico e ambientale) di un processo produttivo, ma anche perché risultati uguali di uno studio espressi secondo unità funzionali differenti possono portare a conclusioni completamente diverse.

10.2.1.3 I CONFINI DEL SISTEMA

Per quanto riguarda i confini della ricerca, questi vengono definiti con un'operazione che richiede grande cura e attenzione.
Tale definizione avviene a seguito di una minuziosa descrizione del sistema in esame e della costruzione del diagramma di flusso del ciclo produttivo, effettuate allo scopo di pianificare la raccolta dei dati e delle informazioni, delineando praticamente in tal modo il campo di azione.
Una prima delimitazione dei confini verrà effettuata con criteri sia geografici sia tecnologici comprendendo cioè nell'ambito della ricerca gli ambienti fisici e i processi produttivi che si ritiene di dover considerare per l'analisi.

Successivamente, via via che lo studio prenderà corpo, sarà possibile escludere componenti che si dimostreranno non rilevanti o per cui risulta troppo oneroso ottenere informazioni dettagliate, oppure includerne altre alle quali inizialmente non si era attribuita un'adeguata importanza.
Resta inteso comunque che la scelta del confine dell'analisi debba essere adeguatamente motivata e sempre segnalata nella redazione dello studio. E la ISO 14040 è molto chiara in proposito: "i criteri adottati nello stabilire i confini del sistema devono essere identificati e giustificati nel campo di applicazione dello studio".
È bene ribadire dunque che l'obiettivo iniziale di una LCA è quello di ripercorrere a ritroso tutte le filiere produttive del sistema indagato fino all'estrazione delle materie prime nella maniera più completa possibile e stimare l'errore che si compie trascurando particolari unità di processo.

10.2.1.4 REQUISITI DI QUALITÀ E AFFIDABILITÀ

Sia nel caso in cui un analista LCA sia dotato di uno strumento di calcolo software che include una base dati da cui attingere le informazioni, sia nel caso si abbiano a disposizione banche dati che possono essere adoperate come sorgente di informazioni da inserire nel proprio modello di calcolo, è strategicamente importante poter qualificare la rappresentatività statistica del dato, la sua origine e tutti gli elementi necessari a una sua riproducibilità.

10.2.2 La seconda fase di una LCA: introduzione all'analisi di inventario

Un sistema prodotto può essere a rappresentato in un modello operativo come una sequenza complessa di operazioni unitarie che si intrecciano tra di loro e con l'ambiente attraverso input e output. L'analisi di inventario è quindi il momento più importante di una LCA, nel quale si procede alla costruzione di un modello analogico della realtà in grado di rappresentare nella maniera più fedele possibile tutti gli scambi tra le singole operazioni appartenenti alla catena produttiva (e distruttiva) effettiva (il sistema).
L'obiettivo di un inventario è quello di fornire dati oggettivi, che solo in seguito potranno essere elaborati e commentati con lo scopo di trarre valutazioni e indicazioni utili a livello decisionale (fasi di Life Cycle Impact Assessment e Life Cycle Interpretation).
Un inventario di ciclo vita deve pertanto offrire garanzie di affidabilità, e per questo la sua redazione deve essere effettuata seguendo un codice ben definito. Solo in questo modo i risultati di diversi inventari di ciclo di vita sono fra loro confrontabili, essendo ottenuti in base ad un'unica modalità di costruzione del modello. La norma ISO 14040 fornisce questo codice, rendendo oggi la stesura di un inventario di ciclo vita meno soggettiva di quanto avveniva nel passato.

10.2.2.1 MODALITÀ DI RACCOLTA DELLE INFORMAZIONI

In considerazione della sua importanza cruciale ai fini dell'attendibilità di una LCA, l'accertamento dell'affidabilità dei dati raccolti durante l'inventario costituisce un'importante fase preparatoria, che permette anche di ottimizzare i tempi nelle fasi successive dello studio.
Pur riconoscendo come sia praticamente impossibile assicurare lo stesso livello di accuratezza per tutte le informazioni utilizzate, poiché i settori industriali, assai numerosi e profondamente diversi tra loro, portano inevitabilmente a una gran varietà nei dati componenti un inventario di ciclo di vita, è bene adottare ogni accorgimento per rendere lo studio il più affidabile possibile.
Ciò premesso, per prima cosa è importante costruire un diagramma di flusso, opportunamente dettagliato, con le operazioni che concorrono a formare il sistema considerato. Per i processi

produttivi più comuni, la maggior parte delle informazioni di dettaglio può essere tratta dalla letteratura tecnica, e ciò è sufficiente per raggiungere lo scopo iniziale, che è quello di acquisire confidenza con le operazioni fondamentali del processo in modo tale da poterne in seguito discutere proficuamente con gli operatori dell'impianto.
In questa fase occorre porsi i seguenti obiettivi principali:

- determinare il grado di dettaglio cui arriva la struttura di misurazione dell'impianto, poiché da questo dipende la precisione a cui può essere spinta l'intera analisi;
- verificare che il diagramma di flusso predisposto corrisponda al processo reale.

Il problema principale consiste allora nell'ottenere un'approssimazione corretta ed efficace. Come per ogni modello operativo, la sua qualità dipenderà dalla presenza in esso di tutte le componenti effettivamente significative.
Quindi, per rendere il sistema globale meglio identificabile e di più facile interpretazione, può essere a volte necessaria l'esclusione volontaria da un inventario di alcuni sottosistemi, come quelli relativi a componenti minori di un processo o a materiali il cui apporto è trascurabile. Questa esclusione, naturalmente, deve essere logica, giustificata dallo scopo dello studio e comunque sempre dichiarata.
Il diagramma di flusso definitivo sarà utilizzato come base per i questionari che saranno successivamente inviati agli operatori dell'impianto con le richieste specifiche per la raccolta sistematica delle informazioni.
I dati da utilizzare nella fase di inventario dovrebbero, per quanto possibile, essere raccolti direttamente sul campo e per questa ragione si parla di solito di primary data. A questo proposito, se la raccolta è effettuata con la collaborazione degli operatori dell'impianto è consigliabile permettere loro di fornire i dati nelle unità di misura che abitualmente usano. Nel caso in cui non sia possibile ottenere i dati in maniera diretta o si preferisca utilizzare informazioni rappresentative settoriali, è necessario servirsi di dati derivati (secondary data) ricavabili dalla letteratura o da banche dati appositamente predisposte.
Quando si usano dati derivati è inoltre importante controllare e citare la fonte, la data di pubblicazione e tutti gli elementi che ne permettano una gestione trasparente e riproducibile come richiesto dalla ISO 14040.

10.2.3 Terza fase di una LCA: l’analisi degli impatti

Le informazioni ottenute dall'analisi di inventario costituiscono la base di partenza per valutazioni di tipo ambientale, cui è dedicata la fase della LCA definita Life Cycle Impact Assessment (LCIA) regolata dalle norme ISO 14040 e ISO 14044. Nella struttura complessiva di una LCA, l'analisi degli impatti ha lo scopo di evidenziare l'entità delle modificazioni ambientali che si generano a seguito dei rilasci nell'ambiente (emissioni o reflui) e del consumo di risorse associati a un'attività produttiva. Questo compito risulta essere tutt'altro che semplice, specialmente per quanto riguarda le conseguenze derivanti dalle emissioni nell'ambiente: esistono problemi oggettivi per l'individuazione e successiva interpretazione scientifica delle correlazioni fra le emissioni stesse e gli effetti ambientali. In base a quanto previsto dalle ISO 14040 e 14044, la struttura generale di una LCIA è composta da alcuni elementi obbligatori (mandatory elements) che convertono i risultati di inventario in opportuni indicatori che possono essere utilizzati direttamente o come base di successive valutazioni opzionali della LCIA.
Affinché uno studio sia conforme alle indicazioni delle norme ISO, è obbligatorio completare:

- ✓ la selezione degli effetti ambientali da considerare, oltre che degli indicatori ambientali che li

rappresentano;
- ✓ l'assegnazione dei risultati della fase di LCI agli effetti ambientali scelti ("classificazione");
- ✓ il calcolo degli indicatori di categoria ("caratterizzazione").

E' invece opzionale:
- ✓ il confronto degli indicatori ambientali calcolati con dei valori di riferimento ("normalizzazione");
- ✓ la determinazione e il confronto dell'importanza dei singoli effetti ambientali ("pesatura").

10.2.3.1 LA SCELTA DEGLI EFFETTI AMBIENTALI

La prima operazione da effettuare nella fase di LCIA è la scelta degli effetti ambientali (o categorie di impatto) sui quali sarà basata l'analisi. In generale, questi effetti vengono definiti a seconda delle potenziali ricadute sulla salute dell'uomo e sull'ambiente ed in base al loro raggio di influenza. Per costruire le categorie di impatto sono utilizzati i seguenti paradigmi principali: ecologia, salute, risorse, riflessi sociali. Nello schema seguente sono riportati i corrispondenti effetti ambientali, con la relativa terminologia inglese in uso.
- ❖ Ecologia: effetti su popolazione ed ecosistema (*ecological effects*).
- ❖ Salute: effetti su salute e sicurezza dell'uomo (*human health and safety effects*).
- ❖ Risorse: esaurimento di risorse di energia e materiali (*resource depletion*).
- ❖ Riflessi sociali: impatto su tutte le attività umane che interagiscono con il sistema considerato e degrado dell'habitat (*habitat degradation*).

Su questa base vengono scelti gli specifici effetti caratterizzanti le varie categorie di impatto, che risultano di conseguenza definite come segue:
- ❖ C1 - effetto serra (*global warming*);
- ❖ C2 - assottigliamento della fascia di ozono (*stratospheric ozone depletion*);
- ❖ C3 - acidificazione (*acidification*);
- ❖ C4 - eutrofizzazione (*nutrient enrichment* o *eutrophication*);
- ❖ C5 - formazione di smog fotochimico (*photosmog formation*);
- ❖ C6 - tossicità per l'uomo e per l'ambiente (*human and eco-toxicity*).

Per quanto riguarda le materie prime e l'energia intese come risorse, si adotta un criterio di classificazione di impatto basato sul concetto di non rinnovabilità della risorsa, per cui alle precedenti si aggiunge la seguente categoria di impatto:
- ❖ C7 - consumo di risorse non rinnovabili (energia e materiali) (resources depletion).

Quanto alla scala, gli effetti ambientali considerati sono caratterizzati ciascuno da una diversa sfera di influenza.

10.2.3.2 CLASSIFICAZIONE

Dopo aver individuato quali sono le categorie di impatto che si intende prendere in considerazione, si passa alla fase di classificazione che, dal punto di vista operativo consiste nell'organizzare i dati dell'inventario. Questo significa distribuire i valori di tutte le emissioni gassose, liquide e solide, provocate direttamente e indirettamente dalle operazioni considerate nelle varie categorie di impatto. Il problema, però, può risultare non di semplice risoluzione in quanto una stessa sostanza costituente un'emissione può contribuire a più fenomeni di impatto, provocando effetti a catena che sono spesso di difficile interpretazione.

Il primo approccio alla valutazione è di tipo generale e porterà semplicemente a collegare

quantitativamente un processo produttivo con determinate categorie di impatto. Per una valutazione puntuale occorrerà procedere successivamente all'identificazione delle parti del sistema che danno maggiori contributi agli impatti individuati, nonché all'approfondimento dello studio con l'ausilio tecniche di controllo più sofisticate.
A tal proposito, è opportuno precisare che l'approccio dell'analisi degli impatti è stato fin dall'inizio quello del "meno è meglio" (*less is better*), il che equivale ad assumere che tutti i tipi di emissione siano rilevanti sulla base del loro grado intrinseco di rischio, indipendentemente dal livello risultante di concentrazione dell'emissione stessa: non importa cioè che questa si trovi al di sopra o al di sotto della concentrazione limite massima che non produce ancora effetti osservabili (NOEC, No Observable Effect Concentration).
Questo procedimento di aggregazione dei risultati dell'Inventory in categorie di impatto è solo il primo passo della fase di valutazione, che non ha l'obiettivo di dare giudizi di valore assoluto sugli effetti ambientali degli impatti, ma consente giudizi relativi, come può essere quello di determinare quale, fra due o più processi produttivi porti a un minor dispendio di risorse e a un minor impatto conseguente ai rilasci nell'ambiente.

10.2.3.3 CARATTERIZZAZIONE

Dopo aver completato la classificazione dei diversi impatti causati dal processo i metodi di caratterizzazione permettono di determinare in modo omogeneo e quantitativo il contributo delle singole emissioni. In tal modo risulta possibile esprimere quantitativamente, in un'opportuna unità di misura, il contributo che a ogni categoria fornisce l'operazione in esame; in altre parole, questa fase permette di determinare i valori degli "indicatori di categoria".
In definitiva, l'impatto risulta rappresentato da valori numerici ottenuti elaborando i risultati della LCI con operazioni di raggruppamento e classificazione: il suo collegamento con l'effetto consiste nel fatto che esso ne è una causa potenziale. In questa accezione, il termine impatto non deve pertanto essere sopravvalutato, come avviene invece spesso nel suo uso corrente, quando lo si confonde con l'effetto che può provocare.

10.2.3.4 PROCEDURE DI NORMALIZZAZIONE E PESATURA

Già dalle prime applicazioni della metodologia di analisi di ciclo di vita è apparsa auspicabile la possibilità di esprimere i risultati della fase di valutazione con dei parametri numerici equivalenti atti a rappresentare quantitativamente in modo sintetico gli effetti ambientali del sistema considerato. È dunque senza dubbio interessante la prospettiva di "normalizzare" i risultati ottenuti con l'operazione di classificazione, ossia elaborarli in modo tale da ottenere degli indici sintetici con cui valutare complessivamente il sistema in esame. Sono stati proposti diversi metodi di normalizzazione, ognuno dei quali fa riferimento a speciali parametri che rendono possibile l'aggregazione dei risultati delle diverse categorie di impatto presentati in precedenza. I profili ambientali così ottenuti risultano pertanto sintetici e particolarmente adatti per operazioni di confronto tra diversi sistemi produttivi.

10.2.3.4.1 - I principali metodi di normalizzazione dei risultati

Le diverse metodologie per la fase di normalizzazione e pesatura possono essere suddivise in diversi tipi di approccio.

1. APPROCCIO MANDATARIO (PROXY APPROACHES)
In questo caso, per descrivere l'impatto ambientale si usa una misura quantitativa o un numero limitato di parametri, come lo spostamento di materiali o il consumo d'energia associato al sistema di produzione. Si tratta di una scelta arbitraria che fornisce una visione parziale del profilo ambientale di un sistema. La scelta dei parametri significativi deve essere effettuata in accordo con gli obiettivi dell'analisi, rivelandosi utile nel caso in cui lo studio di ciclo vita sia stato condotto con la finalità di valutare esclusivamente uno specifico impatto. In caso contrario, la categoria scelta sarà difficilmente rappresentativa.

2. MONETIZZAZIONE (MONETARISATION)
Quest'approccio si rapporta al concetto d'economia dell'ambiente con un duplice aspetto: il valore dell'ambiente può essere stimato prendendo in considerazione le spese necessarie a controllare i danni ambientali oppure considerando la volontà di pagamento manifestata al fine di evitare gli impatti identificati nella LCA. Nel primo caso si parla di *environmental control costs* mentre il secondo è definito *environmental damage costs* (tra questi spicca il metodo svedese EPS).

3. DISTANZA DALL'OBIETTIVO (DISTANCE TO TARGET)
Questo approccio incorpora esplicitamente le preferenze sociali nella formulazione dei coefficienti di pesatura, utilizzando gli standard o gli obiettivi legislativi nazionali e internazionali riguardanti la qualità ambientale. Ad esempio, se la concentrazione di un inquinante nell'ambiente è 1,1 mg/m^3 e lo standard è di 1mg/m^3, il peso da attribuire a questo impatto è 10%, in quanto la concentrazione supera del 10% l'obiettivo previsto. Alcuni problemi di tale approccio metodologico riguardano il fatto che gli standard sono formulati non solo su basi scientifiche, ma sono regolati anche da limitazioni tecniche, fattibilità dei controlli e da altri fattori politici; solo le emissioni che sono sottoposte a regolazione tramite obiettivi di riduzione possono venire incluse nella valutazione. Infine, gli obiettivi, e quindi i risultati dell'analisi, possono essere diversi da stato a stato.

4. VALUTAZIONE DI ESPERTI (Panel APPROACH)
I coefficienti di pesatura sono calcolati da un gruppo di esperti giudicati in grado di valutare l'importanza delle categorie d'impatto. Queste valutazioni possono essere condotte secondo diversi metodi attinenti alle scienze sociali, così come il gruppo di persone può essere scelto secondo diversi criteri (gruppo di esperti, gruppo di consumatori, gruppo governativo) in modo da riflettere le opinioni scientifiche e sociali rilevanti.

5. APPROCCIO TECNOLOGICO (TECHNOLOGY APPROACHES)
Queste metodologie si basano sulla tecnologia conosciuta e usata per l'abbattimento delle emissioni nell'ambiente.
Come è facile intuire, le metodologie per completare la fase LCIA sono molteplici e basate su concetti molto diversi.

10.2.4 Quarta fase di una LCA: interpretazione e miglioramento

L'analisi del ciclo di vita può essere utilizzata per diversi scopi: dal miglioramento dei processi all'innovazione dei prodotti secondo i nuovi standard della produzione sostenibile, fino allo

sviluppo di strategie di politica e comunicazione ambientale. Il miglioramento della produzione, ovvero la scelta tra le alternative applicabili al sistema produttivo atta a massimizzare l'efficienza energetico-ambientale globale, richiede uno sforzo non indifferente a livello progettuale e organizzativo. Di solito questa fase consente di individuare e apportare puntuali modifiche o di adottare azioni necessarie alla riprogettazione dell'intero sistema, al fine di migliorarne lo stato di fatto. Lo scopo ultimo è quello di ricercare la massima ecoefficienza. La norma ISO 14040 definisce questa quarta fase di una LCA come il momento in cui realizzare una valida correlazione tra i risultati dell'analisi d'inventario e di quella degli impatti, per proporre utili raccomandazioni in conformità con gli scopi e gli obiettivi dello studio. In effetti, la norma ha classificato questa fase con il solo termine Interpretation, per non perdere la portata della nomenclatura SETAC (Improvement), si è qui deciso di definire la quarta fase di una LCA "interpretazione e miglioramento". Non esiste, chiaramente, un codice di riferimento per attuare questa fase: l'esperienza del progettista insieme con le competenze del Life Cycle Engineer costituiranno la base per impostare gli studi di fattibilità degli eventuali cambiamenti. La norma ISO 14044 contempla anche questa parte dell'analisi e nella definizione dell'obiettivo dell'interpretazione richiama fortemente il fatto che solo una chiara e comprensibile, completa e consistente presentazione dei risultati delle fasi precedenti è in grado di fornire quelle indicazioni utili a impostare i possibili miglioramenti del sistema in esame. In particolare, la norma indica le seguenti fasi operative:

- identificazione degli aspetti principali evidenziati dai risultati delle fasi precedenti;
- controllo ulteriore tramite analisi di sensibilità;
- conclusioni evidenziando i limiti, raccomandazioni.

Oltre quindi ai risultati di inventario e quelli di valutazione degli impatti, in questa fase è opportuno soppesare il contributo delle diverse fasi del processo in esame identificandone le aree di intervento e miglioramento. L'approccio è di tipo iterativo, nel senso che ogni passo sviluppato durante questa fase deve essere riesaminato in un'ottica LCA: in questo modo, lo spettro delle possibili soluzioni viene valutato e classificato a seconda dei rendimenti energetici e ambientali di ciclo di vita e correlato ai classici indici economici e prestazionali. Va inoltre evidenziato come la fase di interpretazione possa essere condotta su tutti o solo su parte degli indicatori ambientali propri di una LCA, anche in relazione ai parametri su cui l'azienda intende incentrare le proprie attività interne e di comunicazione. Un'analisi delle azioni strategiche potrà portare all'elaborazione di un indicatore specifico da monitorare che potrà costituire nel tempo un parametro di miglioramento su cui focalizzare l'attenzione durante la fase di interpretazione. I recenti sviluppi della metodologia di eco-design vanno proprio nella direzione ora auspicata: integrazione tra i risultati dell'analisi LCA con le competenze della funzione di progettazione per la stesura del miglior progetto ecocompatibile economicamente sostenibile.

10.3 - Metodi per la valutazione del danno

La fase di LCIA (*Life cycle impact assessment*), descritta dalla norma ISO 14040-44 (2006), ha lo scopo di convertire i dati elaborati sui materiali e relativi processi in potenziali danni ambientali, attraverso procedimenti tecnici di tipo tecnico-quantitativo.
Sono valutati e quantificati, infatti, gli effetti nocivi sulla salute e sull’ambiente prodotti dall'oggetto

di analisi nel corso del suo ciclo di vita. Il livello di dettaglio, la scelta degli impatti sui quali soffermarsi maggiormente e le metodologie da utilizzare dipendono dall'obiettivo e dal campo di applicazione dello studio.
Esistono diversi metodi di valutazione a livello internazionale, utilizzati presso l'ENEA per la valutazione degli impatti ambientali dei casi studio: il metodo olandese degli eco-indicatori *Eco-indicator 99*, il metodo svedese *EPS 2000* (*Environmental Priority Strategies in product development*), il metodo danese *EDIP* (*Environmental Design of Industrial Products*) e il metodo *IMPACT 2002+* elaborato in Svizzera.
In *Eco-indicator*, *EPS* e *IMPACT* i danni sono classificati in categorie d'impatto, a loro volta raggruppate in categorie di danno; in *EDIP* i danni sono classificati soltanto in categorie d'impatto. Mediante l'operazione di caratterizzazione e di *damage assessment*, nei quattro metodi, si ottengono dei valori espressi con unità di misura diverse e soltanto mediante le operazioni di normalizzazione (assente in EPS) e si può ottenere un valore adimensionale, punti (Pt), che rappresenta l'impatto ambientale associato al prodotto.
Il metodo scelto per lo sviluppo dello studio è l'IMPACT 2002 + poiché, come riportato nella tabella seguente, calcola l'utilizzo di energia non rinnovabile quantificandone il danno ad esso associato in termini di consumo di combustibili fossili ed emissioni in atmosfera di gas serra, quali l'anidride carbonica.
Per dare una maggiore ricchezza di contenuti, si è scelto di approfondire il metodo nei paragrafi successivi.

Tabella 10.1 - Vantaggi e svantaggi dei metodi di valutazione ambientale

Metodologia di danno	Vantaggi	Svantaggi
Eco-indicator 99	presenta maggiore raffinatezza scientifica nella determinazione dei fattori di caratterizzazione nella categoria relativa alla saluta umana	Caratterizzazione molto forte del land use rispetto alle altre due categorie di impatto di Ecosystem Quality
	Sono considerate le radiazioni ionizzanti	Non sono considerati i danni dovuti alle emissioni di ferro (Fe), azoto (N), di fosforo (P), della domanda di ossigeno chimico (COD),della domanda di ossigeno biologico (BOD).
		Valutazione secondo diverse prospettive culturali o comunque lasciata all'opinione (o all'interesse) del singolo
		Non sono considerati come materiali esauribili l'acqua,sabbia, ghiaia, uranio e argento
		Non sono considerati nella valutazione i costi interni e quelli estern
		Si riferisce alla sola Europa
		Manca la valutazione del consumo energetico, parametro che nella maggioranza dei casi meglio rappresenta la valutazione del danno
EPS 2000	Considera gli effetti della CO_2 nelle categorie Human Health e Biodiversity.	Forte valutazione del danno dovuto al consumo dell'acqua nelle due categorie di impatto Prod. Cap. Irrigation Water e Prod. Cap. Drinking Water rispetto alle altre categorie di impatto in Ecosystem Production Capacity.
	Minore caratterizzazione dei land use riferiti agli impieghi agricoli rispetto a quelli delle costruzioni e degli insediamenti industriali e minore peso della categoria di impatto Biodiversity.	Non considera le radiazioni ionizzanti
	Non c'è la normalizzazione e la valutazione del danno è fatta secondo il criterio dei costi estern	Non considera le Transformation in Biodiversity importanti per tenere conto (come fa Eco-indicator) della condizione di uso del terreno precedente la sua occupazione che sarà ben difficilmente quella della foresta vergine.
	Si riferisce a tutto il pianeta nella valutazione degli impatti	Manca la caratterizzazione di PCB (Poyclorinated biphenyls) e delle Diossine nelle prime tre categorie di impatto di Human Health, entrambi fattori inquinanti tra i più nocivi per la salute dell'uomo e considerati in Carcinogens di Eco-indicator 99.
		Non considera la valutazione dei costi interni
EDIP	Valutazione con previsione di una riduzione del danno, ad esclusione delle risorse	Viene dato scarso peso al danno dovuto all'uso di Resources
	Caratterizzazione delle emissioni in acqua che producono danno alla salute dell'uomo e dell'ambiente.	Manca il danno dovuto all'uso del suolo.
	Caratterizzazione dell'emissione del ferro nelle categorie che riguardano la salute dell'uomo e dell'ambiente.	Manca il danno dovuto alle polveri, ai PCB (policlorobifenili)e alle diossine
		Non c'è né la valutazione dei costi interni né la valutazione dei costi esterni.
		Mancano le radiazioni ionizzanti.
		Le unità di misura non riguardano gli effetti, ma solo le cause del danno
		Si riferisce a tutto il pianeta per i primi due danni (globali). Gli altri si riferiscono alla scala del territorio della Danimarca.
MPACT 2002+	Attribuisce all'uso del suolo una minore caratterizzazione di quella che esso ha in Eco-indicator 99, ma sempre molto superiore a quella di EPS	Manca la caratterizzazione di acqua, ghiaia, sabbia, argento
	Permette una discriminazione spaziale su differenti bacini idrici e celle d'aria in Europa per quanto riguarda la categoria Human Toxicity	Non considera i costi esterni e i costi interni
	Considera gli effetti delle radiazioni ionizzanti.	La CO_2 non entra nella caratterizzazione di Ecosystem Quality
	Calcola il consumo di energia non rinnovabile	Non considera nella categoria Land use la fase di trasformazione (transformation)
		Si riferisce solo alla scala europea.

10.3.1 - Il metodo olandese Eco-indicator 99

Il metodo Eco-indicator 99 è un metodo olandese sviluppato dalla Pré (*Product Ecology Consultants*) per conto del Ministero dell'Ambiente Olandese; costituisce uno strumento efficace per i progettisti, in quanto consente di aggregare i risultati di un LCA in grandezze o parametri facilmente comprensibili ed utilizzabili, chiamati Eco-indicatori.
Tale metodo consente di assumere delle sfumature diverse, specialmente per quanto riguarda la valutazione, a seconda degli atteggiamenti e delle convinzioni di ogni persona. Per consentire una rappresentazione più sfaccettata dei risultati, esso è stato pensato in tre distinte versioni, ognuna delle quali rappresenta una certa tipologia di persone. Per definire le 'classi di persone' si è fatto uso della *Cultural Theory,* la quale distingue cinque principali sistemi di valori. Tale teoria è stata elaborata da Michael Thompson (1990), considerando i comportamenti delle persone rispetto a due dimensioni fondamentali dell'esistenza umana ovvero l'attaccamento al gruppo e il grado di indipendenza nei confronti di imposizioni e prescrizioni esterne.
Eco-indicator 99 necessita di alcune specificazioni per la definizione dell'inventario. Sono prese in considerazione emissioni in aria, acqua e suolo. Il metodo valuta esclusivamente tre tipi di danno ambientale:

- *human Health* (Salute Umana);
- *ecosystem Quality* (Qualità dell'Ecosistema);
- *resources* (Esaurimento delle Risorse).

Tale metodo presenta maggiore raffinatezza scientifica nella determinazione dei fattori di caratterizzazione nella categoria relativa alla saluta umana. Mentre per quanto riguarda le emissioni di CO_2 vengono solo considerate in *Climate change*, mentre sarebbe importante considerarle anche in *Ecosystem Quality*, perché i cambiamenti climatici dovuti al riscaldamento globale producono danni non solo sull'uomo ma anche sulle specie sia vegetali che animali.

10.3.2- Il Metodo danese EDIP

Il metodo EDIP è stato sviluppato in Danimarca all'interno del più ampio progetto nel 1991, con l'obiettivo di sviluppare una metodologia che permettesse di considerare gli aspetti ambientali nello sviluppo dei prodotti industriali.
Il metodo comprende le seguenti generali categorie di danno:

- impatto ambientale;
- consumo delle risorse;
- impatto nell'ambiente di lavoro.

Queste tre categorie hanno tra loro la stessa importanza. Gli impatti interni a queste categorie principali sono ulteriormente divisi secondo la loro estensione geografica in impatto globale, impatto regionale, impatto locale. Questa suddivisione è rilevante per la parte finale della valutazione, dove i contributi alle varie categorie d'impatto sono normalizzati e pesati, perché il carattere e il modo dell'azione ha effetti diversi per estensioni geografiche differenti.Tale metodo prevede:

- la valutazione con previsione di una riduzione del danno, ad esclusione delle risorse;
- la caratterizzazione delle emissioni in acqua che producono danno alla salute dell'uomo e dell'ambiente;

- la caratterizzazione dell’emissione del ferro nelle categorie che riguardano la salute dell’uomo e dell’ambiente.

È dato invece scarso peso al danno dovuto all’uso di *Resources* e le unità di misura non riguardano gli effetti, ma solo le cause del danno.

10.3.3 - Il metodo svedese EPS 2000

Il metodo EPS nasce per assistere nel modo migliore i progettisti durante la progettazione del prodotto con il minor impatto ambientale. Lo sviluppo di un nuovo prodotto è spesso visto come un processo sistematico, mentre in realtà è un processo dinamico e complesso in cui sono frequenti cambiamenti sostanziali. All’inizio di tale processo il grado di libertà è grande e i costi associati ai cambiamenti sono relativamente bassi, ma col progredire della progettazione tali costi aumentano esponenzialmente. Per questo motivo diviene importante considerare fin da subito tutti gli aspetti connessi al prodotto da sviluppare, compresi quelli ambientali. Il metodo aveva l’intento di essere uno strumento d’uso corrente, facile da comprendere e da usare.

10.3.4 - Metodo Impact 2002+

Implementato dallo Swiss Federal Institute of Technology di Losanna, il metodo di valutazione ambientale denominato Impact 2002+, utilizzato per studiare il caso studio della tesi, offre una soluzione intermedia tra gli approcci dalle precedenti metodologie *midpoint- oriented*, basate sulle categorie di impatto come CML ed EDIP 1996 e damage-oriented, orientate alla valutazione per categorie di danno, come EPS ed Eco-Indicator99.

Le categorie di danno utilizzate da Impact 2002+ sono quattro:

1. Human Health;
2. Ecosystem Quality;
3. Climate Change;
4. Resources.

L’*Human Health*, la salute umana, contiene in sé il concetto che il presente e il futuro dell’essere umano deve essere libero da malattie, disfunzioni e morti premature.

Misurata in DALY (Disability Adjusted Life Years) e derivata da cinque categorie intermedie:

- Human toxicity;
- Respiratory (inorganics);
- Ionizing radiations;
- Ozone layer depletivo;

Photochemical oxidation corrispondente alla voce Respiratory (organics) per human health.

L’*Ecosystem Quality*, assume che la qualità dell’ecosistema sia adeguatamente rappresentata dalla diversità delle specie in esso presenti. Il danno è espresso come la diminuzione del numero di specie in un’area in un tempo. In questa categoria di danno sono usate due diverse unità di misura: il PAF*m2 y per la categoria di impatto *ecotoxicity*, il PDF*m2y per le categorie di impatto *acidification* and *eutrophication* e *land use* e derivata dalle seguenti categorie intermedie:

- acquatic ecotoxicity;
- terrestrial ecotoxicity;
- terrestrial acidification / nutrification;
- acquatic acidification;

- acquatic eutrophication;
- land occupation.

Alle categorie sopra elencate potrebbe essere aggiunto l'apporto delle *midpoint categories* già incontrate in Human Health Photochemical oxidation e Ozone layer depletion.
L'architettura di Impact 2002+, diversamente da quella di EcoIndicator, prevede la possibilità di allocare gli apporti delle diverse *midpoint categories* all'interno di più categorie di danno: nel caso dell'ossidazione fotochimica è per l'appunto in fase di elaborazione una metodologia, già individuata per stimare il danno sulla salute umana, in grado di legare tale impatto anche all'integrità degli ecosistemi naturali.
Il *Climate Change,* misurata in kg di CO_2 equivalente in aria, derivata dall'unica categoria di impatto Global warming
Le *Resources*, misurate in MJ, costituite dalle *midpoint categories*:

- non renewable Energy;
- mineral extraction.

In aggiunta a questa correlazione tra *midpoinit* e *damage* sono state anche affrontate alcune richieste scientifiche sorte specialmente nelle aree degli impatti riguardanti la tossicità umana e alla ecotossicità, come i seguenti:

- La stima dei rischi tossicologici cronici cumulativi e di potenziali impatti in applicazioni comparative come possono essere quelle dell' LCA;
- La considerazione del carattere intermittente della pioggia e della differenza tra emissioni indoor e outdoor;
- La determinazione degli effetti di emissioni da prodotti chimici tenendo conto delle esposizioni ad esse basate sulla loro produzione piuttosto che sulla loro sulla loro quantità esistente in un determinato luogo.

10.3.4.1 - CATEGORIE DI IMPATTO

I fattori di caratterizzazione per le diverse categorie di impatto sono basati su un principio di equivalenza, cioè i punteggi assegnati alle diverse sostanze sono espressi in kg-equivalenti di una sostanza di riferimento. In Tab.1 sono riportate le categorie d'impatto (midpoint), le sostanze di riferimento, le categorie di danno (endpoint) e le unità di misura delle categorie di danno. Obiettivo principale comune a tutte le categorie d'impatto è la determinazione degli effetti a lungo termine ottenuta mediante l'uso di un orizzonte temporale (time horizon) infinito, qualche volta approssimato da un time horizon di 500 anni.
La categoria d'impatto *Human Toxicity* costituisce uno dei principali aspetti di novità introdotti da Impact 2002+, che lo differenzia dalle metodologie precedenti: attraverso un nuovo modello di calcolo. *Human toxicity* risponde all'esigenza di stimare il rischio tossicologico cumulativo e i potenziali impatti associati ad una determinata quantità di sostanza liberata nell'ambiente. Tale legame è esplicitato ricorrendo a un codice di calcolo denominato IMPACT 2002 (*Impact Assessment of Chemical Toxics*, da non confondere col nome della metodologia di analisi LCA che ne fa uso, cioè Impact 2002+), che è in grado di modellizzare rischio e potenziale dell'impatto di migliaia di sostanze chimiche, calcolando i fattori a livello dell'Europa Occidentale con differenziazioni spaziali per 50 bacini idrografici e celle d'aria europee.

10.3.4.2 - LE CATEGORIE DI DANNO

I fattori di danno delle sostanze vengono ottenuti moltiplicando i fattori di caratterizzazione per quelli di danno (damage assessment) delle sostanze di riferimento.

Tabella 10.2 - Le categorie di impatto e di danno di impact 2002+

Categoria di impatto	Categoria di danno	Fattore di danno	Unità di misura	Sostanza di riferimento
Human toxicity (Carcinogens/non Carcinogens)	Human Health (DALY)	2,80 E-6	DALY/kg C_2H_3Cl	kg_{eq} chloroethylene (in aria)
Respiratory (inorganics)		7,00 E-4	DALY/kg PM2.5	kg_{eq}PM2.5 (in aria)
Ionizing radiations		2,10 E-10	DALY/Bq C-14	q_{eq} carbon-14 (in aria)
Ozone layer depletion		1,05 E-3	DALY/kg CFC-11	kg_{eq} CFC-11 (in aria)
Respiratory organics		2,13 E-6	DALY/Kg ethilene	kg_{eq} ethylene (in aria)
Acquatic ecotoxicity	Ecosystem Quality (PDF*m2*yr)	5,02 E-0.5	PDF*m2*yr/kg TEG water	kg_{eq} triethylene (in acqua)
Terrestrial ecotoxicity		7,91 E-3	PDF*m2*yr/kg TEG soil	kg_{eq} triethylene (in suolo)
Terrestrial acidification/nutrification		1,04	PDF*m2*yr/kg SO_2	kg_{eq} SO2 (in aria)
Land occupation		1,09	PDF*m2*yr/m2org.arable	mq_{eq} organic arable land*yr
Global warming	Climate Change (kg_{eq} CO_2)	1	kg_{eq} CO_2	kg_{eq} CO_2 (in aria)
Non-renewable energy	Resources (MJ)	1	MJ	MJ primary non-renewable
Mineral extraction		1	MJ	MJ surplus

I fattori di caratterizzazione per le categorie di impatto di *Human Health* sono espressi sempre in DALY/kg $_{emissione}$ o in DALY/Bq $_{emissione}$ per la categoria *Ionizing radiation*.
Per la *Ecosystem Quality* le categorie di impatto *Terrestrial acidification*, *Terrestrial nutrification* e *Land occupation* sono state prese da Eco-indicator 99 e il loro impatto si determina come una frazione di potenziale in via di estinzione (*Potentially Disappeared Fraction)* in una certa area e in un determinato intervallo di tempo per kg di sostanza emessa (espressa in PDF*m^2*yr/kg $_{emissione}$).
Per l'ecotossicità la valutazione del danno è basata sulla Potentially Affected Fraction (PAF) delle specie integrato nel tempo e nel volume, espresso in PAF*m^3*yr/kg. Per convertire i PAF in PDF si è usato il fattore di estrapolazione diretta 10 tra il NOEC, *No Observed Effect Concentration*, del PAF e il NOEC del PDF.
Metodi di estrapolazione sono adesso in fase di sviluppo per la determinazione dei fattori di danno che caratterizzano gli impatti sull'ecosistema causati da acidificazione acquatica ed eutrofizzazione acquatica. Anche l'ossidazione fotochimica e l'assottigliamento della fascia di ozono contribuiscono potenzialmente all'impatto sull'ecosistema. Tuttavia mancano attualmente adeguate informazioni scientifiche tali da poter quantificare i loro contributi in termini di PDF.
Per la categoria *Climate Change* si è ritenuto che i dati per stabilire il danno dei mutamenti climatici sulla qualità dell'ecosistema e sulla salute umana non fossero ancora abbastanza accurati. L'interpretazione, di conseguenza, ha luogo direttamente al livello della categoria di impatto, valutabile come il danno relativo ai sistemi di supporto alla vita chiamati alla protezione della loro stessa esistenza.
La categoria d'impatto *Global warming* è considerata a sé stante, con unità di misura equivalente ai kg $_{eq}$ di CO_2 e il fattore di danno (per essere accorpato nella categoria di danno *Climate Change*) pari a 1. L'orizzonte temporale è ancora di 500 anni, per tenere conto sia degli effetti a breve sia quelli a lungo termine.
Per quanto concerne infine *Resources*, le due categorie d'impatto sono *mineral extraction* e *non-renewable energy consumption*. Il danno dovuto all'estrazione di minerali sono calcolate come in Eco-indicator 99 mediante il concetto di *Surplus Energy* (in MJ). Esso si basa sull'assunzione che

l'estrazione di un materiale determina un incremento del fabbisogno di energia per ogni altra quantità di sostanza estratta dal sottosuolo in futuro; ciò a causa della ridotta ed eterogenea diffusione delle risorse minerarie nel pianeta e delle caratteristiche sempre meno vantaggiose in termini di reperibilità e facilità di captazione dei giacimenti mondiali. Mentre i minerali potrebbero essere potenzialmente accessibili al termine dell'utilizzo, una volta avviati a smaltimento con eventuale recupero, l'energia non rinnovabile (ad esempio quella da combustibili fossili), invece, una volta utilizzata non può essere ripristinata a un livello energetico funzionale al reimpiego. Per questa ragione, contrariamente a quanto avviene in Eco-indicator 99, per le risorse energetiche non rinnovabili è considerata l'energia primaria potenziale contenuta nelle materie prime dei materiali. L'unità di misura della categoria di danno *Resources* è la somma della quantità di energia primaria (Surplus) per l'estrazione dei minerali e dell'energia primaria (potenziale) per vettori energetici (*energy carriers*), in [MJ/unità $_{consumata}$].

10.3.4.3 - LA NORMALIZZAZIONE E LA VALUTAZIONE DEL DANNO

La normalizzazione è il rapporto tra l'impatto specifico per unità di emissione diviso per l'impatto totale relativo all'Europa delle sostanze della specifica categoria, per persona e in un anno. L'unità di misura di tutti i fattori delle categorie d'impatto è pers*year/unità di misura del danno, cioè il numero di persone equivalenti affette durante un anno per unità di misura del danno.

Tabella 10.3 - I fattori di normalizzazione in IMPACT 2002+

Categoria di danno	Fattore di normalizzazione	Unità di misura	Peso
Human Health (DALY)	141	Persona*anno / DALY	1
Ecosystem Quality (PDF*m2*yr)	7,30 E-5	persona*anno / PDF*m2*anno	1
Climate Change (kgeq CO2)	1,01 E-4	persona*anno/ Kg CO2	1
Resources (MJ)	6,8 E-6	Persona*anno / MJ	1

In *Human Health* il fattore di normalizzazione è calcolato in accordo con Eco-indicator 99, con due modifiche: gli impatti causati dai mutamenti climatici non sono presi in considerazione, mentre la tossicità delle sostanze inquinanti per l'uomo è calcolata come somma degli effetti cancerogeni e non cancerogeni. Per ogni inquinante, l'impatto, in DALY/kg $_{emissione}$ è moltiplicato per le emissioni annuali nell'Europa Occidentale, ripartite tra comparti aria, suolo e acqua, ottenendo il numero globale di DALY persi annualmente in Europa a causa della singola sostanza inquinante.

Gli impatti totali sulla salute umana in un anno si ottengono quindi sommando quelli di tutte le sostanze (2.695E6DALY/anno). Infine tale valore è diviso per la popolazione europea (380 milioni di persone) per ottenere il valore da usare per la normalizzazione per *Human Health*: 7.092E-3 DALY/(pers*anno), che esprime una riduzione di vita di circa tre giorni per anno e per persona.

Anche in *Ecosystem Quality* il fattore di normalizzazione è determinato in maniera simile a quello usato in Eco-indicator 99, con due differenze: il danno alla qualità dell'ecosistema causato dalla trasformazione del suolo e dall'ossidazione fotochimica non è considerato e il danno alla qualità dell'ecosistema causato dalle emissioni tossiche è ripartito tra le categorie di danno per gli ecosistemi acquatici e terrestri.

In *Climate Change* il valore rispetto al quale fare la normalizzazione è basato sulle emissioni annue totali di CO_2 prodotte in Europa, moltiplicate per i potenziali di riscaldamento globale in un orizzonte di 500 anni. Il punteggio totale di riscaldamento globale relativo alle emissioni in Europa

Occidentale è 3,78E12 kg $_{eq}$ CO_2/anno. Tale valore viene diviso per la popolazione europea, per ottenere la quota di gas clima alteranti emessi per persona l'anno, pari a 9.95E3 kg $_{eq}$ CO_2/(pers*anno).
In *Resources* il valore rispetto al quale fare la normalizzazione è calcolato come il consumo totale di energia non rinnovabile in Europa, includendo il consumo di energia nucleare.

10.4 - Il Codice di calcolo SimaPro 7.3

Molte istituzioni hanno sviluppato software per la realizzazione di un LCA; ciò è dovuto al fatto che il grande numero di dati immagazzinati e da processare rende il computer, lo strumento più adatto per eseguire questo tipo di indagine. Lo strumento che si utilizza per la realizzazione della parte applicativa di questo lavoro è il SimaPro versione 7.15 messo a disposizione da ENEA, in particolare dalla Divisione Sistemi Energetici Ecosostenibili. In questo capitolo si mostrano gli aspetti più importanti di questo programma, in particolare lo schema di calcolo e il modo in cui i dati vengono raccolti.
SimaPro è un Codice di calcolo basato sul metodo LCA per la valutazione del ciclo di vita dei prodotti in relazione al loro impatto ambientale. Nel momento in cui ci si appresta a realizzare il LCA di un qualsiasi prodotto è necessario poter disporre di informazioni dettagliate riguardo a ciascuno dei suoi componenti (siano essi i materiali utilizzati, i processi di lavorazione, i trasporti, l'energia o lo smaltimento).
Esso inoltre ha la funzione di interpretare i risultati delle fasi di inventario e di valutazione degli impatti e nell'eventuale redazione di conclusioni e di raccomandazioni per il miglioramento della performance ambientale del sistema studiato. In questa fase si valutano le opportunità per minimizzare l'impatto associato ad un prodotto.
Si possono valutare le proposte di miglioramento costruendo i relativi profili ambientali e tenendo conto di altri criteri decisionali, scegliere l'alternativa più appropriata.
In tabella vengono riportate alcune definizioni fondamentali per capire le caratteristiche e la struttura del programma.

Tabella 10.4 - Caratteristiche strutturali del programma

Life Cycle Assesment (LCA)	Valutazione del ciclo di vita di un prodotto
Assembly	Il prodotto generato
Disposal Scenario	Possibilità di trattamento a cui può essere sottoposto un prodotto dopo il suo uso
Additional life cycle	LCA dei prodotti o dei processi che si aggiungono al prodotto o al processo fondamentale
Materials	Materiali di cui è costituito il prodotto. La banca dati del Codice fornisce l'impatto ambientale della loro produzione.
Processes	L'energia (energy), il trasporto (transport), i processi di lavorazione (processing), necessari per la generazione di un prodotto
Disposal fraction	Famiglie di materiali a cui il Codice attribuisce alcuni tipi di trattamento dei rifiuti (plastics, ferro metals, non ferro, textile…)
Disposal fraction not defined /others	Il materiale considerato non ha una disposal fraction e quindi il Codice non lo considera come rifiuto
Waste treatment	Tipo di trattamento dei rifiuti che può essere attribuito alle famiglie di materiali landfill, recycling, incineration, compositing
Waste scenario	Possibilità di trattamento a cui può essere sottoposto un prodotto dopo il suo utilizzo, considerandolo come rifiuto (Municipal waste, household waste, landfill NL, Incineration NL, recycling only)
Reuse	Possibilità di riutilizzo del prodotto
Disassemblies	Le parti in cui il prodotto può essere scomposto prima di essere smaltito come rifiuto. Alcune di esse possono essere riutilizzate.
Raw materials	Materiale grezzo
Avoided products	Co-prodotti o prodotti secondari di un processo

10.5 - Conclusioni

Il metodo LCA risulta tanto più attendibile quanto più è ricca la banca dati delle sostanze rilasciate nell'ambiente dai vari processi industriali necessari per l'ottenimento del prodotto in esame. Inoltre, poiché la valutazione dei risultati del LCA dipende sia dalla scelta dei metodi utilizzati per collegare le sostanze emesse nell'ambiente alle categorie d'impatto ambientale, sia dalla scelta attuata per ridurre l'attuale livello di sostanze inquinanti in un tempo determinato, si comprende come queste due scelte siano molto delicate e complesse; esse coinvolgono infatti molteplici aspetti tecnici, sociali ed economici, quali il rispetto dell'ambiente, il rapporto tra costi e benefici che riguardano non solo le aziende e ma anche tutta la società civile. Tengo a fare osservare che gli effetti positivi di uno studio di LCA non sono tangibili nel breve periodo, ma occorre aspettare del tempo prima che l'organizzazione recepisca l'intera portata del processo intrapreso. Questo molto spesso sfocia nella tendenza a considerarlo uno strumento dalle chiare valenze esterne più che come opportunità di crescita e maturazione interna dell'impresa. Uno studio LCA può essere vantaggioso per:

- ✓ le etichetta ambientale, come l'Ecolabel, in quanto può rappresentare una base informativa per la certificazione esterna;

- ✓ il marketing d'azienda se usato per realizzare prodotti competitivi sul mercato, confrontando l'impatto ambientale tra più prodotti o famiglie di prodotti;

- ✓ per accelerare i cambiamenti interni all'impresa favorendo la produzione di nuovi prodotti: l'innovazione di quelli già esistenti e il *budgeting ambientale* (che permette di crea un sistema informativo che supporti un sistema di gestione ambientale, tenendo sotto controllo le emissioni, i consumi di risorse e i connessi effetti);

- ✓ la riduzione dei costi attraverso un'analisi delle possibili ottimizzazioni.

Attualmente le perplessità che permangono nell'utilizzo di questo strumento riguardano principalmente il livello di soggettività delle valutazioni sia nella fase dell'inventario che nella successiva valutazione degli impatti, nonché sul difficile reperimento di dati, sulla loro attendibilità e valenza scientifica. Tutto ciò richiede un'evoluzione graduale di questo strumento, la cui standardizzazione teorica e metodologica (indispensabile per accrescerne l'oggettività) necessita di tempo e di studio.

CAPITOLO 11 - Sviluppo applicativo della metodologia LCA: le etichette ecologiche

Il crescente interesse nei confronti della protezione e della corretta gestione dell'ambiente è accompagnato dall'affermarsi di nuove strategie e politiche che, messe in atto da vari soggetti, hanno il compito di migliorare l'efficienza dei processi e con questa di mitigare il carico ambientale che essi generano. Un'interessante strada che è stata recentemente intrapresa dai governi europei è quella della politica integrata di prodotto (*Integrated Product Policy* - IPP), che pone una maggiore attenzione alle varie fasi del ciclo di vita dei prodotti in quanto è ormai nella comune consapevolezza che gli impatti ambientali derivanti dalle filiere produttive che fanno capo ai prodotti sono diversificati a più livelli: nel tempo, nello spazio, nella tipologia e gravità degli effetti.
A questo proposito, gli orientamenti presenti nei vari Programmi d'Azione per l'ambiente dell'Unione Europea propongono, ormai da circa dieci anni, un approccio basato da un lato sulla responsabilizzazione di tutti gli attori interessati (*stakeholders*), dall'altro sulla collaborazione e integrazione tra le parti in modo tale da spingere il mercato a privilegiare i comportamenti eco-responsabili. Da queste idee, trascinate soprattutto dai Paesi del Nord Europa, nasce il *Libro Verde* sulla IPP che costituisce la descrizione di un paniere di strumenti messi a disposizione dei *policy makers* in ambito ambientale al fine di perseguire gli obiettivi di sostenibilità dello sviluppo. L'idea di fondo è quella di avere il controllo dell'intero ciclo di vita di un prodotto attraverso l'individuazione degli impatti che i processi produttivi generano in ogni fase, e creare una relazione tra questi ed i soggetti economici, sociali ed istituzionali che ne vengono coinvolti. In questa idea si riconosce evidentemente il consumatore come uno degli attori principali, sia per il suo comportamento in fase di gestione e smaltimento del prodotto, sia in quanto costituisce la bilancia del mercato, che, se influenzata, può orientarsi verso una direzione piuttosto che un'altra.
Per quanto detto fino ad ora, considerando la volontà di individuare gli impatti per ogni fase del ciclo di vita di un prodotto e di responsabilizzare i diversi attori coinvolti, si può quindi giungere alla definizione della strategia denominata *Life Cycle Thinking* (LCT), basata sul "pensare al ciclo di vita" e che vede il suo sviluppo applicativo nella metodologia dell'analisi del ciclo di vita (Life Cycle Assessment, LCA) (*vedi figura*). Nella visione LCT rientrano le *etichette ecologiche* di cui si parlerà a breve, che hanno il compito specifico di veicolare l'informazione ai consumatori (sia professionisti, sia finali) sull'entità del carico ambientale di ciclo-vita di un bene o di un servizio.

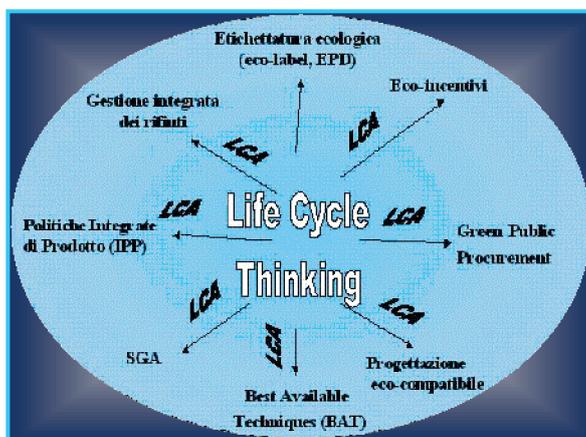



Fig.11.1 - Life Cycle Thinking

11.1 - Le motivazioni del cambiamento

L'esigenza di introdurre schemi di certificazione ambientale nasce nei primi anni '90 per attivare processi volontari di miglioramento continuo e di informazione al pubblico. L'idea ha preso spunto dal successo avuto negli anni'80 dagli schemi di certificazione della qualità che avevano contribuito, con il miglioramento della produzione e con la visibilità a livello internazionale dei certificati, ad accrescere la competitività delle imprese. Per comprendere le motivazioni di tale esigenza si deve tener conto della percezione negativa che il pubblico, a fronte delle evidenti condizioni di degrado dell'ambiente, aveva maturato nei riguardi dello sviluppo industriale, arrivando a manifestare, da un lato, una forte domanda nei confronti del decisore politico per una maggiore protezione e salvaguardia dell'ambiente e, dall'altro, una aperta ostilità nei confronti dell'industria. Come conseguenza, i Governi hanno adottato una legislazione ambientale sempre più rigida prevedendo sanzioni nei confronti dei contravventori e demandando alle autorità competenti l'effettuazione di verifiche difficili e complesse, spesso eseguibili in maniera episodica e incompleta, al punto che il controllo del rispetto della legislazione ambientale è risultato complicato e spesso inefficace.
L'opinione pubblica ha colto i limiti di tale politica ed ha continuato a chiedere ai Governi ulteriori interventi di miglioramento ambientale. Questi hanno reagito incrementando la severità dei limiti di legge e l'inasprimento delle sanzioni; ciò ha comportato condizioni di miglioramento ambientale ma che non sono state percepite come tali dal pubblico che ha continuato a nutrire le stesse preoccupazioni sulla salute dell'ambiente, la stessa sfiducia nell'azione dei Governi e lo stesso clima di sospetto nei confronti del sistema produttivo. Si è determinato un circolo vizioso che ha fatto maturare, agli inizi degli anni 90, soprattutto a livello europeo il convincimento della necessità di un mutamento radicale del tipo di politica da adottare per conseguire risultati significativi sul piano del miglioramento delle condizioni ambientali.

11.2 - I principi di una nuova politica ambientale

Il cambiamento è stato attuato introducendo (Quinto Programma d'azione in campo ambientale della Unione Europea, periodo '93-2000) principi innovativi capaci di incidere non solo sul modo di impostare la nuova legislazione ambientale, ma anche sui modi di produrre delle imprese e di comunicare con il pubblico.
Tra questi, quelli che hanno dato corpo agli schemi di certificazione ambientale rispondono all'esigenza di:

- instaurare un rapporto non conflittuale con le imprese, sollecitando un loro comportamento volontario verso la difesa dell'ambiente;
- attivare la partecipazione del pubblico, individuando efficaci strumenti di formazione ed informazione ambientale.

Nel primo caso si tende a creare le condizioni affinché le imprese, per rafforzare la loro competitività sul mercato, non debbano solo fornire buoni prodotti a basso costo, ma debbano rendere le loro tecnologie, i loro processi di produzione ed i loro prodotti compatibili con la salvaguardia dell'ambiente instaurando, inoltre, un dialogo con il pubblico in merito alle loro prestazioni ambientali. Nel secondo si tende a favorire ed a sviluppare il coinvolgimento della società nei processi decisionali riguardanti la protezione dell'ambiente e la salute dei cittadini,

aumentando la consapevolezza delle parti sociali sul ruolo e sul contributo che possono fornire per incidere positivamente sulla sostenibilità dello sviluppo.
Questi principi si sono concretizzati nei due schemi di certificazione ambientale EMAS ed **Ecolabel** rispettivamente disciplinati dai Regolamenti CE 761/2001 (ex 1836/93) e 1980/2000 (ex 880/92).
Ambedue i Regolamenti si prefiggono l'obiettivo di promuovere lo sviluppo economico in armonia con l'ambiente e, a tal fine, mirano ad:

- influire sulla responsabilizzazione diretta dei produttori di beni e servizi quali protagonisti del miglioramento delle condizioni ambientali;
- instaurare un processo di informazione sistematica alle parti interessate (Pubblica Amministrazione, cittadini, consumatori, ONG, OO.SS., ecc.) dei miglioramenti conseguiti o conseguibili;
- introdurre elementi di visibilità per le organizzazioni ambientalmente "virtuose".

Sono strumenti ad elevato livello di credibilità, specialmente in Italia, in quanto la registrazione EMAS e la concessione della etichetta Ecolabel vengono rilasciate da un organismo pubblico, il Comitato per l'Ecolabel e l'Ecoaudit, istituito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, che inoltre si avvale, per lo svolgimento delle funzioni assegnate, del supporto tecnico dell'APAT e delle ARPA.

11.3 - La politica ambientale di seconda generazione

I primi cinque anni di applicazione in Europa dei Regolamenti EMAS ed Ecolabel hanno dimostrato la loro forte valenza quali strumenti di prevenzione, di miglioramento ambientale e di comunicazione, tanto che il Sesto Programma d'azione della U.E. (2001-2006) invita tutti gli Stati membri ad accrescerne la diffusione. In aggiunta, a fronte della evoluzione delle politiche ambientali, sempre più attente al sistema prodotto che non alla regolamentazione settoriale dei processi produttivi, e dell'affermarsi della considerazione che gli effetti del degrado ambientale sono conseguenza non solo dell'attività produttiva ma anche del comportamento del consumatore (produzione rispettosa dell'ambiente e consumo consapevole come elementi sinergici verso la creazione del "*mercato verde*"), il Sesto Programma invita gli Stati membri a sviluppare strategie (IPP- *Integrated Product Policy*) di integrazione degli strumenti volontari disponibili (EMAS, ECOLABEL, certificazione ISO 14001 ecc.) con nuovi strumenti quali:

- il *Green Public Procurement* (GPP), per diffondere una politica degli acquisti "verdi";
- le etichettature ambientali, *Dichiarazioni Ambientali di Prodotto*, per migliorare l'informazione ambientale tra le imprese e verso i consumatori;
- gli studi di *Life Cycle Assessment* (LCA), come base sistematica per conoscere l'impatto ambientale di prodotti e servizi durante il loro intero ciclo di vita.

A seguito di questo nuovo approccio i due Regolamenti europei, in occasione della loro prima revisione (2000-01), sono stati profondamente innovati. Ne sono un esempio:

- l'estensione di EMAS dal solo settore industriale a tutti i settori e l'introduzione del principio di responsabilità anche nei riguardi della gestione degli impatti ambientali indiretti;
- l'estensione del campo di applicazione di Ecolabel dai prodotti ai servizi.

Con queste innovazioni è stato attribuito un ruolo strategico al pubblico, inteso nell'accezione più generale di settore pubblico e di cittadini-consumatori, in quanto soggetto che con le sue scelte può orientare il mercato. A tal fine il logo EMAS e il marchio Ecolabel diventano strumenti di comunicazione ambientale, in quanto contraddistinguono soggetti, siti produttivi, parti di territorio,

prodotti e servizi che sono gli environmental leaders del mercato europeo. Il *"mercato verde"* è una sfida che riguarda tutti:

- le imprese che in sede di progettazione ed esercizio/erogazione possono migliorare le caratteristiche di prodotti e servizi;
- i consumatori che possono privilegiare una offerta ecologicamente qualificata ed un impiego/uso corretto di quanto acquisito;
- le Amministrazioni che possono erogare servizi ambientalmente adeguati, incidere su un uso corretto del territorio, svolgere un ruolo di attento consumatore, informare ed indirizzare la sensibilità ed il comportamento dei cittadini, introdurre incentivi premianti, promuovere la ricerca, armonizzare le politiche per lo sviluppo.

Nell'ambito degli strumenti di certificazione ambientale un quadro di riferimento importante è, inoltre, costituito dagli standard internazionali della serie *ISO 14000* adottati, a partire dal 1996, dall'International Organization for Standardization.

11.3.1 - EPD

Analogamente a quanto accade per i sistemi di certificazione di tipo 1 (*Ecolabel in Europa, Angelo Azzurro in Germania, Cigno Bianco in Scandinavia, Ecologo in Canada, Ecomark in Giappone, ecc*), alcuni paesi hanno predisposto schemi per la certificazione e registrazione delle dichiarazioni ambientali di prodotto.

Uno degli schemi più attivi a livello internazionale è quello che lo *Swedish Environmental Management Council* (SEMC) ha implementato dal 1998 e che è conosciuto sinteticamente come *Sistema EPD* (Environmental Product Declarations). Gli attori che con diversi compiti fanno parte del sistema EPD sono:

- *l'Agenzia svedese stessa*, che è l'Ente di riferimento del sistema che ha redatto le Linee Guida (MSR, 2000) ed ha inoltre il compito di formare e gestire il Comitato Tecnico che andrà ad affrontare tutte le questioni relative al sistema;
- *le organizzazioni*, che hanno il ruolo più importante in tutto il sistema in quanto sono loro che, interpretando la variabile ambiente come nuova opportunità di crescita, decidono d'investire risorse umane ed economiche in un'attività finalizzata a migliorare le prestazioni ambientali dei propri prodotti e a comunicarle in maniera innovativa e accreditata;
- *gli organismi di certificazione* che svolgono funzione di verifica e di accreditamento della EPD per conto dello SEMC, in modo da conferirgli il valore aggiunto necessario ad ottimizzare l'investimento che le organizzazioni hanno intrapreso in questa direzione;
- *le parti interessate*, che devono dare il giusto peso alle certificazioni in modo da garantirne una adeguata diffusione.

Per quanto riguarda la documentazione di riferimento, oltre alle Linee Guida che regolano il Sistema EPD e alle ISO 1404X, il sistema si basa:

- sui *Requisiti Specifici di Prodotto* (Product Specific Requirements, **PSR**), che costituiscono la "scheda tecnica" dei prodotti (o meglio del gruppo di prodotti). In questo documento, l'azienda, il distretto o il settore produttivo definiscono i criteri di appartenenza di un prodotto ad un determinato gruppo e per questo fissano i parametri utili a rendere confrontabili le EPD dei prodotti funzionalmente equivalenti compresi nel gruppo. Nella PSR vengono definiti i parametri tecnici e funzionali del gruppo, il campo di applicazione

dello studio del ciclo di vita del prodotto (Life Cycle Assessment, LCA) e gli aspetti ambientali rilevanti per quel gruppo;

- sui risultati di uno *studio LCA* condotto sulla base delle indicazioni presenti nei PSR, nelle linee guida del sistema e nelle norme ISO 14040;
- sulla vera e propria *dichiarazione ambientale* (EPD) che andrà ad essere convalidata e che in pratica consiste in un documento idoneo a comunicare nella maniera più efficace e trasparente possibile i risultati dello studio LCA.

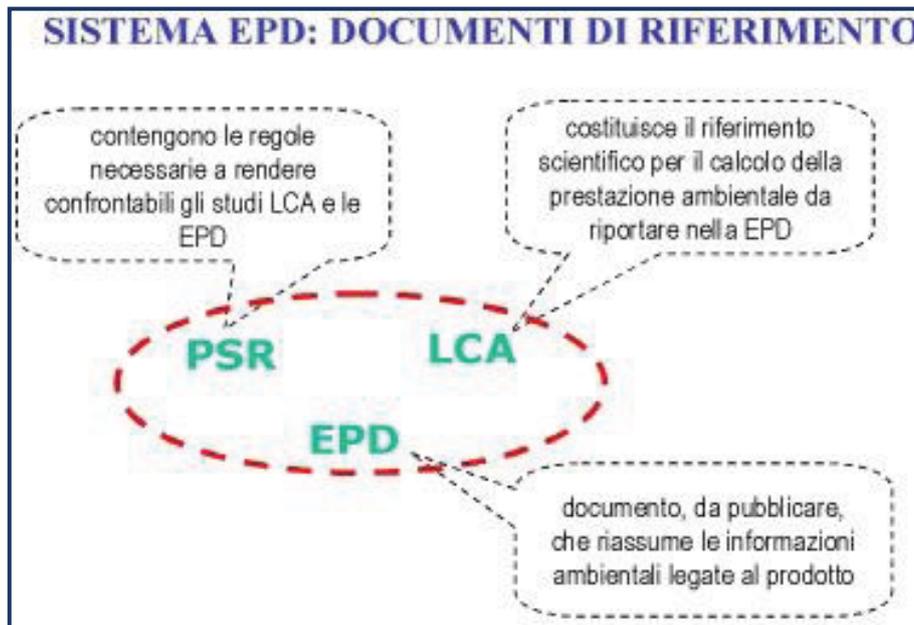



Fig.11.2 - Sistema EDP- Documenti di riferimento

11.3.2 - Ecolabel

Un Fiore è il simbolo dell'Ecolabel europeo che contraddistingue prodotti e servizi a minor impatto ambientale. Per i produttori l'Ecolabel europeo può essere una opportunità per poter dimostrare il loro impegno e la loro attenzione alle problematiche ambientali in un mercato sempre più sensibile a queste tematiche. Per i consumatori è la via migliore per identificare e scegliere prodotti che rispettano l'ambiente.

11.3.2.1 - L'ECOLABEL EUROPEO

L'Ecolabel è il marchio europeo di certificazione ambientale per i prodotti e i servizi nato nel 1992 con l'adozione del Regolamento europeo n. 880/92, e aggiornato con il nuovo Regolamento n. 1980 del 17 luglio 2000.

E' uno strumento ad adesione volontaria che viene concesso a quei prodotti e servizi che rispettano criteri ecologici e prestazionali stabiliti a livello europeo.

L'ottenimento del marchio costituisce, pertanto, un attestato di eccellenza che viene rilasciato solo a quei prodotti/servizi che hanno un ridotto impatto ambientale. I criteri sono periodicamente sottoposti a revisione e resi più restrittivi, in modo da favorire il miglioramento continuo della qualità ambientale dei prodotti e servizi.

11.3.2.2. - I CRITERI DELL'ECOLABEL EUROPEO

I criteri ambientali si applicano a tutti i beni di consumo (eccetto alimenti, bevande, e medicinali) e ai servizi. I criteri sono definiti a livello europeo per gruppi di prodotto/servizio, usando l'approccio "dalla culla alla tomba" (LCA - valutazione del ciclo di vita) che rileva gli impatti dei prodotti sull'ambiente durante tutte le fasi del loro ciclo di vita, iniziando dall'estrazione delle materie prime, dove vengono considerati aspetti volti a qualificare e selezionare i fornitori, passando attraverso i processi di lavorazione, dove sono gli impatti dell'azienda produttrice ad essere controllati, alla distribuzione (incluso l'imballaggio) ed utilizzo, fino allo smaltimento del prodotto a fine vita.

Gli aspetti che sono analizzati, in particolare, sono il consumo di energia, l'inquinamento delle acque e dell'aria, la produzione di rifiuti, il risparmio di risorse naturali, la sicurezza ambientale e la protezione dei suoli. Tra gli elementi che hanno un maggior impatto negativo sull'ambiente vengono individuati i più rilevanti, e per ciascuno di essi sono stabiliti precisi limiti che non possono essere superati. E' escluso l'uso di sostanze che possono essere dannose per la salute umana.

I criteri così definiti sono sottoposti ad una ampia consultazione in seno al Comitato dell'UE (CUEME) che è composto dagli Organismi competenti degli Stati membri, da rappresentanti delle ONG ambientaliste, da associazioni dei consumatori e dell'industria, da sindacati nonché da rappresentanti delle PMI e del mondo del commercio. Infine, i criteri devono essere sottoposti per l'approvazione alla Commissione delle Comunità Europee. Una volta adottati i criteri restano validi fino alla successiva revisione, che potrebbe renderli più restrittivi, in relazione al mercato e ai progressi scientifici e tecnologici, sempre al fine di migliorare le prestazioni ambientali del prodotto etichettato e di mantenere la selettività del marchio.

11.3.2.3 - QUALI SONO I PRODOTTI/SERVIZI CHE OGGI POSSONO RICHIEDERE L'ECOLABEL EUROPEO

Attualmente possono richiedere l'Ecolabel europeo 23 gruppi di prodotti/servizi: calzature, tessili, lampadine, materassi, frigoriferi, detersivi (per lavastoviglie, per bucato, per stoviglie, multiuso e per sanitari), lavastoviglie e lavatrici, carta per copie, ammendanti, personal computer, carta per uso domestico, pitture e vernici, piastrelle, lubrificanti e i servizi di ricettività turistica e di campeggio.. Sono in corso di definizione i criteri per i mobili e la carta stampata.

Il numero di prodotti che hanno ottenuto l'Ecolabel europeo è in costante crescita in tutta Europa. Per conoscere i dati aggiornati si può consultare il sito dell'Unione europea.

11.3.2.4 - CHI PUÒ RICHIEDERE L'ECOLABEL EUROPEO

Le domande di assegnazione del marchio di qualità ecologica possono essere presentate da produttori, importatori, prestatori di servizi e distributori all'ingrosso e al dettaglio. I distributori possono presentare domanda solo per i prodotti che immettono in commercio contrassegnandoli con il proprio marchio.

11.3.2.5 - COME SI OTTIENE L'ECOLABEL EUROPEO

Un prodotto/servizio per ottenere il marchio di qualità ecologica deve rispettare i requisiti previsti dai criteri adottati a livello europeo per quel gruppo di prodotti.

Un manuale tecnico, concepito per accompagnare il richiedente nell'iter di attuazione dello schema, è disponibile per ciascun gruppo di prodotto/servizio. Ciascun manuale contiene tutte le

informazioni sui criteri e sui rapporti di prova necessari per il rilascio del marchio per quel gruppo di prodotti.
La domanda, insieme con il fascicolo tecnico, tutti i documenti necessari per la valutazione tecnica di conformità ai criteri, la ricevuta del versamento delle spese di istruttoria, il certificato di iscrizione alla Camera di commercio, deve essere presentata al Comitato Ecolabel-Ecoaudit, Sezione Ecolabel, che provvede ad inoltrarla ad APAT per l'esecuzione dell'istruttoria tecnico-amministrativa. APAT ha 60 giorni di tempo per verificare la conformità del prodotto/servizio ai criteri Ecolabel di riferimento e per comunicare il risultato al Comitato. Se l'istruttoria ha esito positivo il Comitato, entro 30 giorni, concede l'etichetta, informa la Commissione Europea, e sottoscrive con il richiedente un contratto relativo alle condizioni di uso del marchio stesso.

11.3.2.6 - I VANTAGGI CHE POSSONO DERIVARE DALL'ECOLABEL EUROPEO

L'Ecolabel costituisce un vantaggio competitivo legato all'aumento di visibilità sul mercato e all'allargamento del target clienti. Il marchio, infatti, dà la possibilità di avvalersi di un elemento distintivo, sinonimo di qualità ambientale e prestazionale, che può evidenziare il prodotto/servizio su tutto il mercato europeo e attirare il consumatore attento alla salvaguardia ambientale.
Al consumatore l'Ecolabel europeo garantisce che il prodotto:

- ha un minor impatto ambientale rispetto agli altri prodotti presenti sul mercato;
- è stato sottoposto a severissimi test per assicurarne le qualità ambientali e prestazionali;

Scegliendo prodotti/servizi Ecolabel, quindi, il consumatore contribuisce a migliorare l'ambiente, riceve un'informazione trasparente e credibile, acquista prodotti che non hanno componenti dannosi alla salute, e verificati da un Organismo indipendente.
Al produttore e al distributore l' Ecolabel europeo:

- consente di richiedere per i propri prodotti un marchio valido in tutti i Paesi europei;
- accresce la visibilità sul mercato nazionale ed europeo;
- dà una pubblicità aggiuntiva attraverso le campagne di promozione dell'UE e degli Stati membri, i siti web dedicati, etc.

Ulteriori benefici, infine, possono derivare dal crescente sviluppo del mercato verde, e dalle iniziative che sono allo studio dell'UE e degli Stati membri per aumentarne la diffusione (IPP, Libro Verde, Green Public Procurement, etc.).

11.4 – Il caso della discarica per RSU certificata

A dimostrazione di quanto l'ambito della gestione dei rifiuti interessi l'etichettatura ecologica, al fine di garantirne la sostenibilità ambientale, si riporta di seguito in maniera sintetica il caso della ACAM S.p.A. che è stato l'unico in Europa ad ottenere la Dichiarazione Ambientale di Prodotto relativamente al servizio, svolto presso la località di Val Bosca, di:

- **raccolta e conferimento dei rifiuti in discarica;**
- **abbancamento dei rifiuti e coltivazione;**
- **gestione dei prodotti della decomposizione della frazione organica: biogas e percolato.**

CAPITOLO 12 – Presentazione della discarica oggetto dello studio

12.1 Premessa

La discarica per rifiuti solidi urbani presa in esame è quella ubicata nei pressi del Comune di Motta S. Anastasia ad Est del capoluogo Etneo a circa 25 Km dal centro urbano, al confine con il Comune di Misterbianco. La discarica accoglie i rifiuti prodotti da un bacino di utenze molto vasto; il dato, aggiornato al Febbraio 2010, secondo l'ultimo rapporto dell'ARPA Sicilia, reca un numero di abitanti serviti pari a circa 1.100.000. L'immagine seguente riporta in giallo l'estensione territoriale, corrispondente al totale dei Comuni serviti dalla discarica in oggetto, nel contesto del territorio regionale.

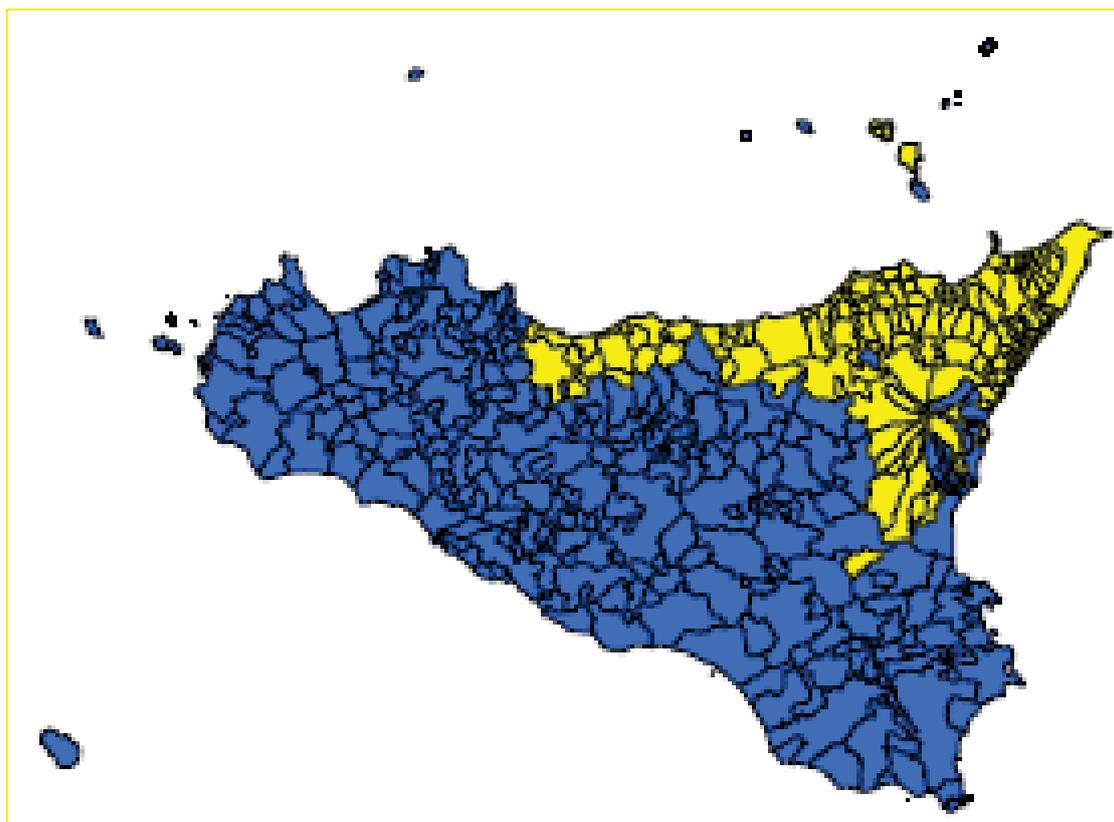



Fig. 1 - Estensione territoriale relativa alla totalità dei comuni serviti dall'impianto discarica in oggetto

Per maggiore chiarezza si è voluto riportare l'immagine seguente recante:

- un'aerofotogrammetria relativa alla discarica;
- l'insieme dei Comuni serviti con indicazione della posizione dell'impianto;
- un istogramma recante la distribuzione delle distanze tra i Comuni e l'impianto.

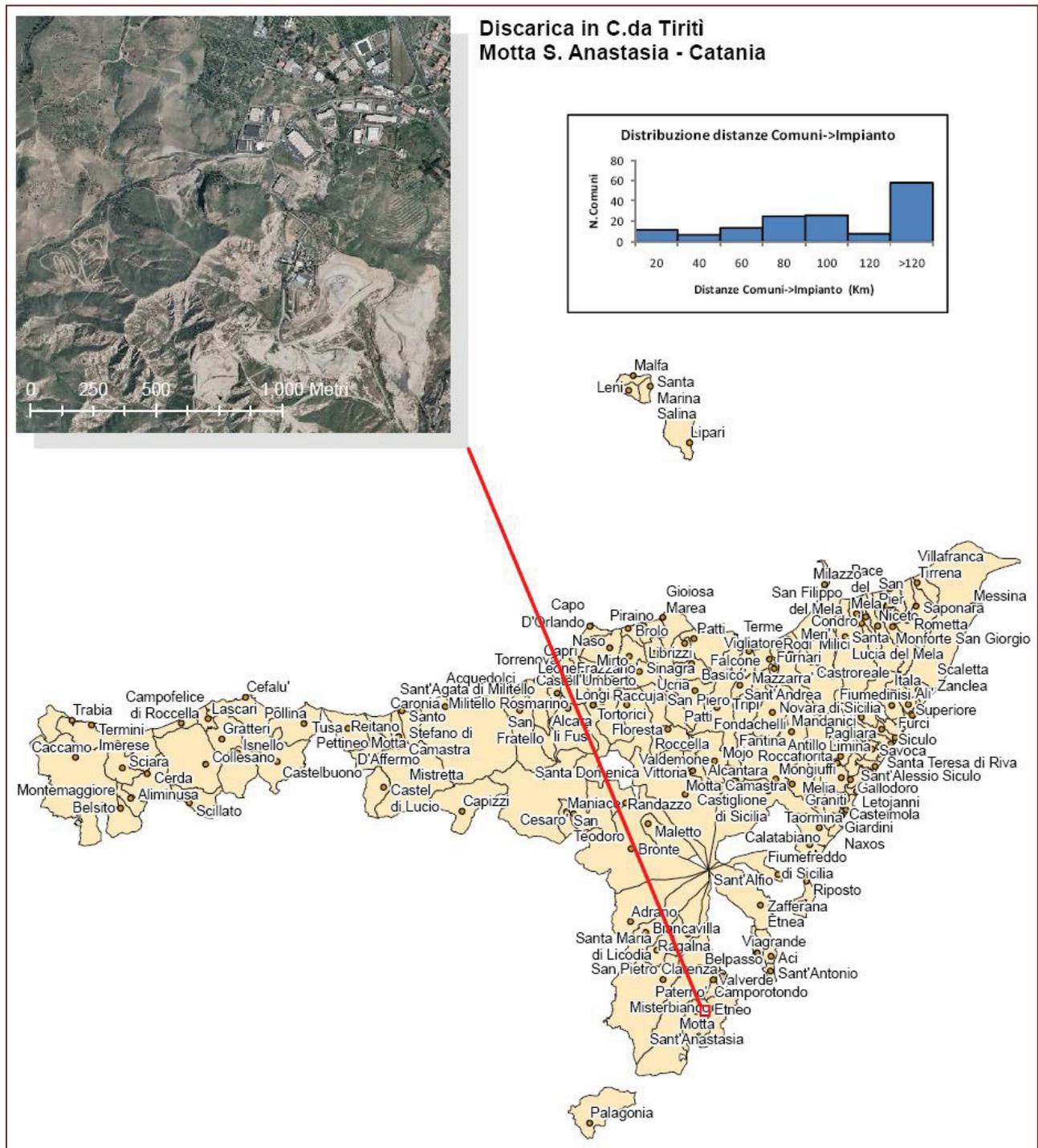



Fig2.: La discarica in esame: posizione, Comuni serviti e distanze dall'impianto – Fonte: ARPA Sicilia

L'area all'interno della quale è compreso l'impianto di discarica si estende per circa 35 ha; nello specifico la porzione di territorio che coincide con il corpo discarica occupa circa 29 ha, mentre i rimanenti 6 ha ospitano i servizi di supporto alla gestione dell'impianto.

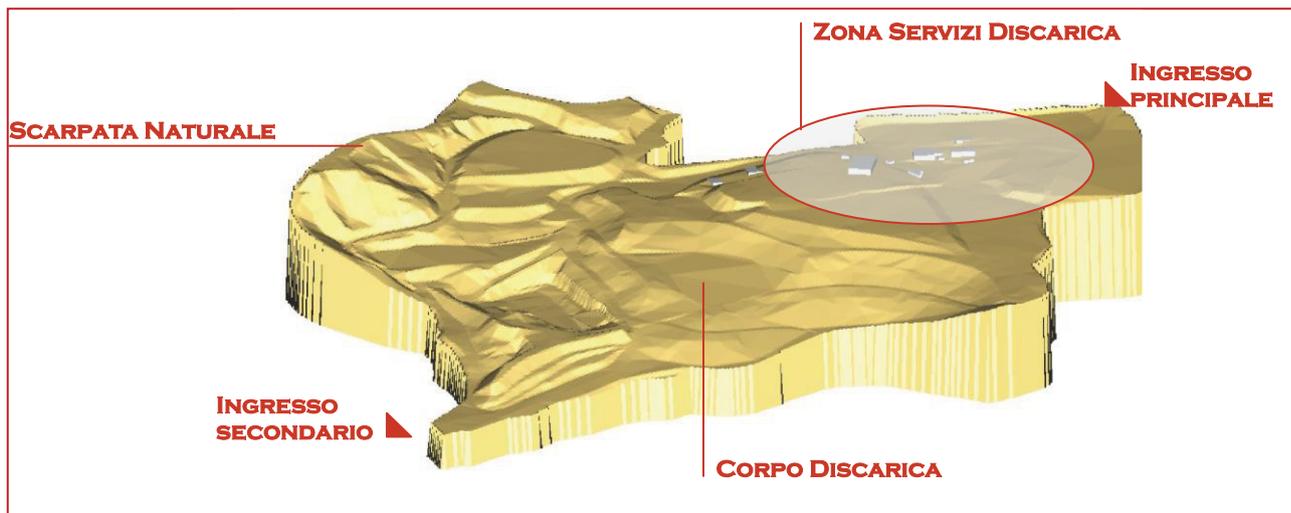



Fig.3.: Vista 3D della discarica

Fig.4: Vista panoramica delle aree di coltivazione

Il suo territorio è diviso essenzialmente in 4 grandi macro-aree di abbancamento, lotto A, lotto B, lotto C, lotto D, come mostrato nell’immagine sottostante.

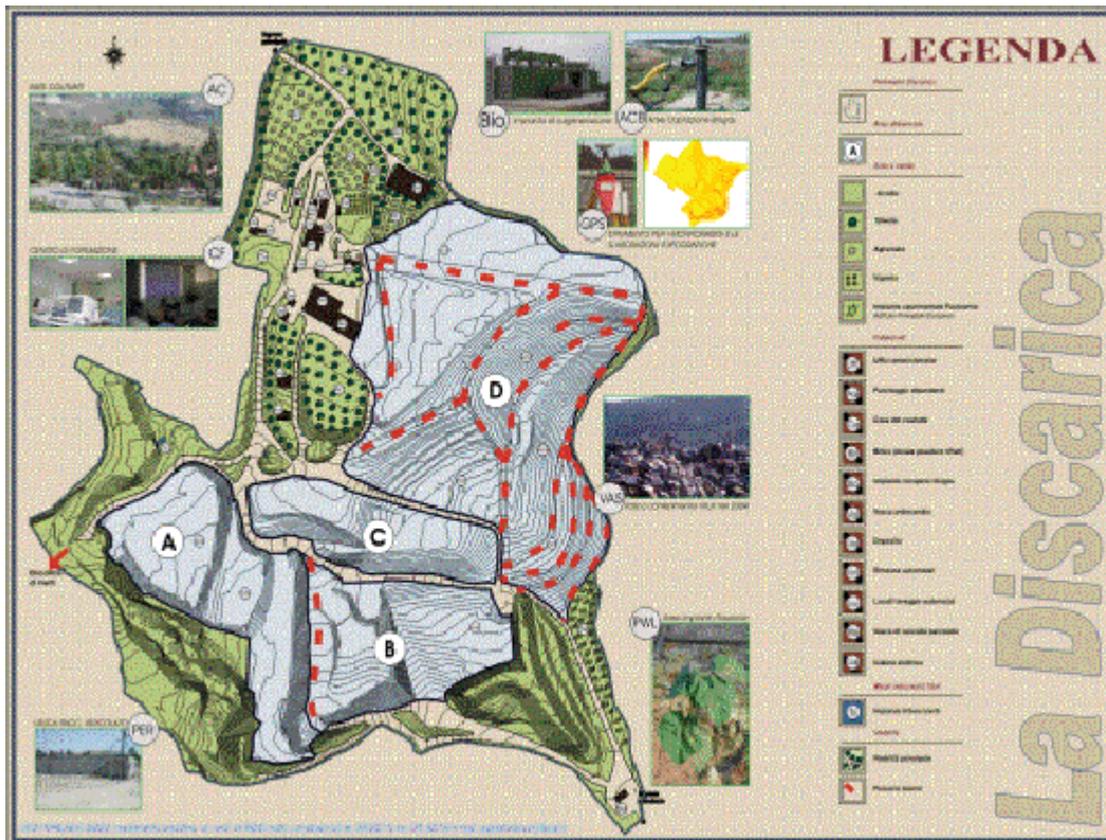



Fig.5: Schema planimetrico della dislocazione dei servizi dell'azienda. In evidenza i 4 lotti in cui è suddiviso il corpo della discarica.

L'abbancamento dei rifiuti avviene a ridosso dei pendii, per riempimento di squarci aperti lungo i versanti dovuti ad aree calanchive o ad impluvi. Le basi dei 4 grandi lotti, sono ormai colme di rifiuti e quindi il deposito si sviluppa esclusivamente in altezza.
Al momento, infatti, non sono previsti lavori per realizzare nuovi lotti destinati all'abbancamento dei rifiuti.
All'interno dell'area sono presenti inoltre:

- dei moduli abitativi, nonché uffici dove i dipendenti svolgono le proprie attività;
- un dispositivo di pesatura per i camion in ingresso con i rifiuti e delle autocisterne in uscita per il trasporto del percolato da smaltire;
- una stazione meteo-climatica per avere informazioni riguardanti le precipitazioni atmosferiche che come sappiamo influenzano la formazione del percolato;
- un impianto GPS, al fine di facilitare i rilievi topografici e tenere in costante monitoraggio l'abbassamento dei versanti e la morfologia in generale del territorio;
- un impianto per la captazione dei biogas e un impianto per l'analisi dello stesso;
- un bacino di raccolta del percolato, che si trova nella zona più depressa della discarica a circa 135 m s.l.m.; percolato che viene smaltito giornalmente, tramite il trasporto in autocisterne, presso un centro autorizzato per la depurazione di fanghi civili e industriali nelle vicinanze di Gioia Tauro (RC).

12.2 Classificazione della discarica

Sulla base della Deliberazione del Comitato Interministeriale del 27/7/84 (disposizione transitoria del D.Lgs.22/97) la discarica in oggetto risulta classificata quale

– I CATEGORIA –

ovvero discarica idonea ad accogliere *rifiuti urbani e assimilati agli urbani*.
Il Decreto Legislativo 13 gennaio 2003, n. 36 introduce la nuova classificazione delle discariche secondo la quale la classificazione si trasforma in:

- DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI -

Tale classificazione è stata mantenuta con l'entrata in vigore della norma di riferimento in materia ambientale (DLgs 152/2006) e successive modifiche.
La quantità di rifiuti autorizzati con D.A. Regione Sicilia n°385/10 del 09/07/1997 è pari a 3.155.648 m^3. Il grado di compattazione dato ai rifiuti in fase di abbancamento è pari a **0,9 t/m^3**, ne consegue che la quantità di rifiuti autorizzati corrisponde a: 3.155.648 m^3*0.9 t/ m^3 = **2.840.083,2 t.**
Nel Febbraio del 2010, dato confermato dal rapporto tecnico redatto dall'ARPA Sicilia nell'Aprile 2010, recante il titolo "Produzione e gestione dei rifiuti urbani in Sicilia", il volume residuo era pari 115.572,34 m^3, con una quantità di conferimento giornaliera mediamente pari a 1.400,00 t.
Come mostrano le tabelle 1.11 ed 1.12 di cui al capitolo 1 del presente lavoro di tesi, estratte dal rapporto tecnico appena menzionato, nel 2009, secondo la procedura AIA (Autorizzazione Integrata Ambientale) n. 221, i gestori dell'impianto in oggetto, hanno fatto richiesta di un potenziamento della discarica che ha portato, nel 2010, all'autorizzazione di un volume di rifiuti pari a poco più di 2.500.000,00 m^3.
E' importante puntualizzare però che sia la trattazione relativa alla descrizione della discarica, sia quella riguardante lo studio ambientale, si riferiscono allo stato della discarica prima dell'inizio dei lavori di ampliamento della stessa.

12.3 Caratteristiche geomorfologiche

Il territorio in esame costituisce parte dell'estrema propaggine pedemontana dell'edificio sud-orientale etneo esteso fino a Paternò, con culminazione in corrispondenza di M.te Tiritì.
Caratterizzata da un'urbanizzazione che ne ha modificato solo marginalmente i lineamenti originari, l'area presenta un aspetto legato alle strutture tettoniche e all'interazione tra agenti esogeni e natura del suolo, da cui deriva una morfologia composita che può essere distinta in diversi settori, caratteristici delle pendici etnee:

- una fascia settentrionale ripida ed accidentata dove affiorano i prodotti vulcanici del distretto eruttivo;
- una fascia meridionale, in corrispondenza dei sedimenti pelitici di facies marina (argille marnose azzurre) e psefitico-psammitici di facies fluvio-deltizia, in cui la morfologia degrada dolcemente fino al limite con la pianura alluvionale del Simeto.

La morfologia dell'area si presenta accidentata nelle vulcaniti, collinare o calanchiva nelle argille e

pianeggiante nelle alluvioni.
Le creste rocciose sono costituite da affioramenti vulcanici quali il Neck di Motta Sant'Anastasia (Fig.4), situato ad Ovest del Vallone dei Sieli.
Altre vulcaniti che rappresentano manifestazioni delle attività vulcaniche pre-etnee (Fig.5), affiorano, in discordanza sulle Argille marnose azzurre, a sinistra del Vallone dei Sieli (CRISTOFOLINI & PUGLISI, 1974).

Fig.6.: Il "neck di Motta S. Anastasia"

Fig. 7: Vulcaniti nell'area settentrionale della discarica

Comune a tutte le vulcaniti è l'aspetto granulare e il colore grigio chiaro; le maggiori differenze riguardano la fessurazione e la presenza di vacuoli; scarsi nelle parti più interne della massa e via via più frequenti nelle porzioni apicali delle colate laviche (CRISTOFOLINI & PUGLISI, 1974)

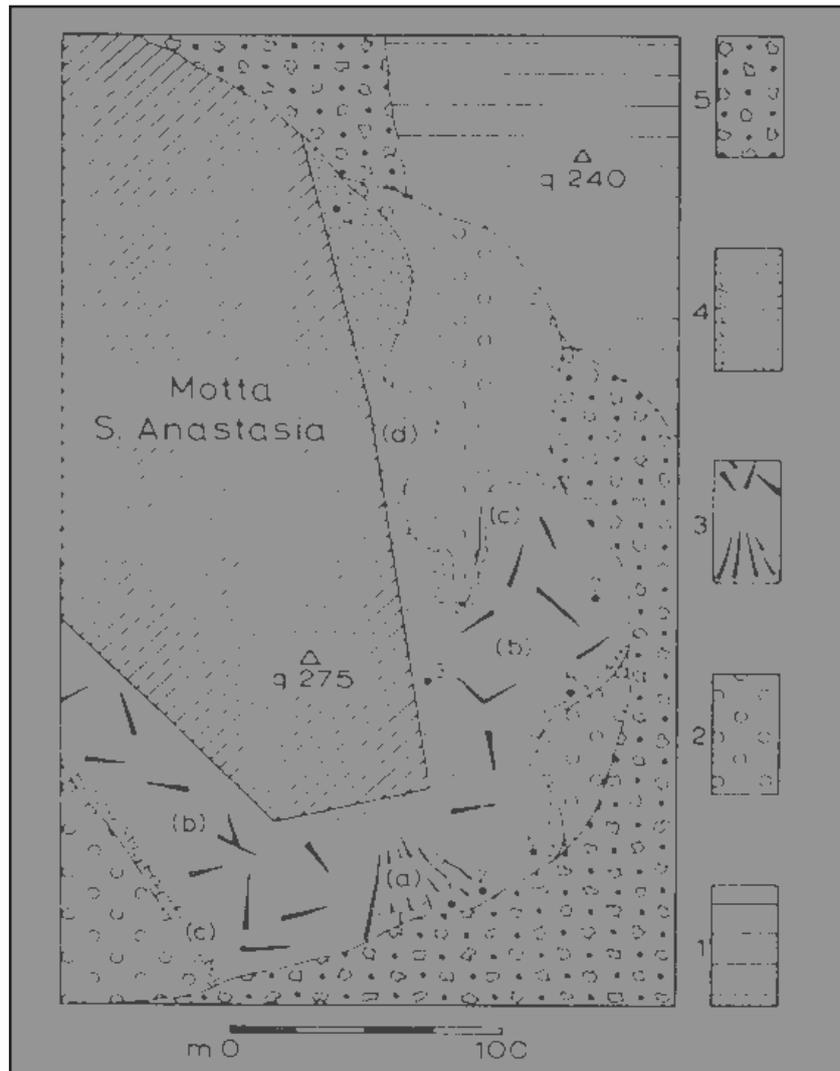



Fig.8: (da CRISTOFOLINI & PUGLISI, 1974) Pianta schematica dell'affioramento basaltico di Motta S. Anastasia, che mostra i rapporti tra le singole facies. 1= argille azzurre; 2= conglomerati; 3= facies a) in basso e facies b) in alto; 4= facies c) a sinistra e facies b) a destra; 5= detrito.

Nelle vulcaniti è possibile, inoltre, distinguere differenti facies:

- facies a fessurazione tipicamente colonnare (Fig. 9);
- facies a fratturazione irregolare (Fig9);
- intervallo vulcanico con sistemi di fessurazione subnormali, minutamente bollosi, al contatto con le rocce incassanti, rappresentate essenzialmente da conglomerati (Fig. 10);
- facies sommitale, caratterizzata da plaghe discontinue a tessitura marcatamente bollosa (Fig. 10).

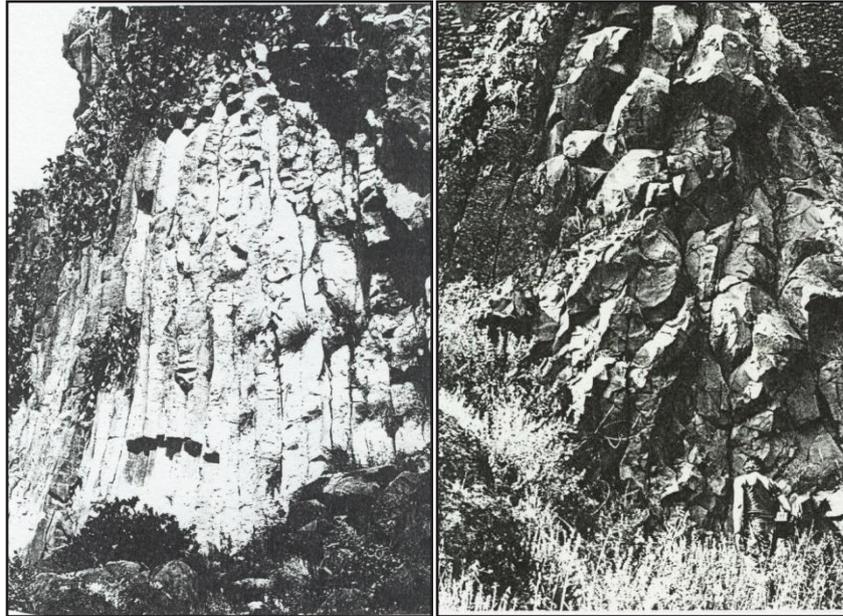



Fig. 9: (da CRISTOFOLINI & PUGLISI, 1974) – Rispettivamente: facies con fessurazione colonnare dell'area di Motta S. Anastasia e facies a fessurazione in blocchi poliedrici

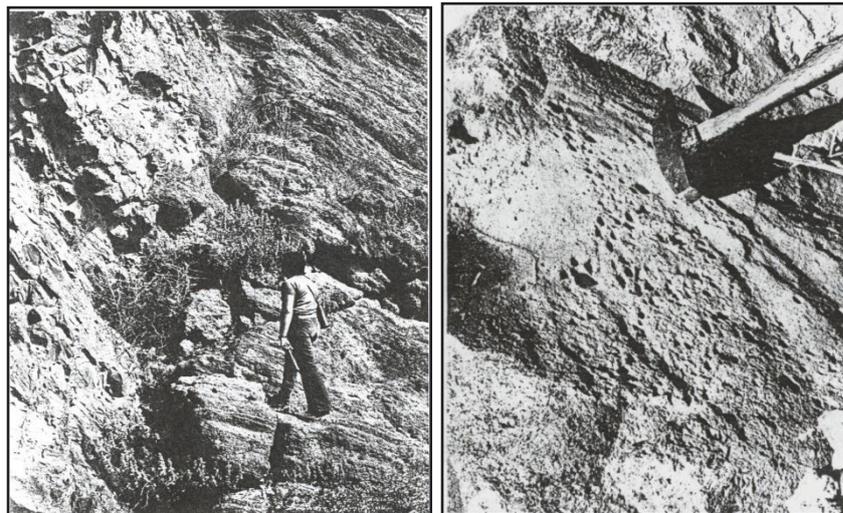



Fig. 10: da CRISTOFOLINI & PUGLISI, 1974) – Rispettivamente: facies marginale, interessata da sistemi di fessurazione subnormali e facies sommitale a tessitura vacuolare, della massa magmatica dell'area di Motta S. Anastasia

La superficie topografica, spesso costituita da argille alterate, è interessata da dislocazioni che, oltre a dar luogo a scarpate e dislivelli più o meno accentuati, inducono instabilità geomorfologica, osservata soprattutto nel versante orientale della collina su cui è posto il centro abitato di Motta S. Anastasia.

12.4 Stabilità geomorfologica

L'instabilità è messa in evidenza dal progressivo e continuo abbassamento dei versanti, collegato con la denudazione operata dalla degradazione meteorica sia fisica che chimica; a tal proposito

possono essere citati innumerevoli fenomeni idroclastici che caratterizzano le argille in cui sono frequenti tipiche fessurazioni, note in letteratura come mud-crack (Fig.11).

Fig.11: Fessurazione nelle argille, nella parte settentrionale della discarica: mud-craks

Provocati dalla ripetuta azione di imbibizione ed essiccazione dei terreni, i mud-cracks sono particolarmente visibili nelle aree prive di copertura vegetale; laddove inoltre, la gravità assume un ruolo dominante, si osservano movimenti più o meno lenti dei terreni resi plastici dall'incremento del loro tenore in acqua, riconducibili a fenomeni di soliflussione, ovvero di colamento verso valle del terreno, e di reptazione, in cui le singole particelle del terreno, risentendo ancora dell'azione della forza di gravità tendono a muoversi verso il basso, riassestandosi continuamente tra loro con un moto più veloce in superficie che in profondità. Si tratta di movimenti relativamente lenti, dell'ordine di qualche centimetro l'anno. Questo fenomeno provoca la formazione di piccole scarpate superficiali, con rottura della copertura vegetale e messa a nudo del suolo. (Fig. 12).

Fig.12: Colamento verso valle del terreno, reso visibile dalla inclinazione di manufatti e spostamenti del terreno, localizzati nelle aree a Nord della discarica di C.da Valanghe d'inverno

Caratteristiche sono anche le aree calanchive nelle argille di C.da Valanghe d'Inverno (Fig. 13), legate sia all'impatto diretto delle acque selvagge che al ruscellamento delle acque incanalate.
Questi fenomeni sono favoriti dalla locale acclività, dalle condizioni climatiche dominanti nei mesi piovosi, dalla ridotta copertura vegetale nonché dagli interventi antropici.

Fig. 13: Zona a calanchi nelle argille affioranti in "Contrada Valanghe d'Inverno"

Appare evidente, quindi, come tali meccanismi conferiscano all'area una condizione metastabile e vi inducano mutamenti anche a breve termine, delle stesse condizioni, per cui anche fattori, quali piccole infiltrazioni d'acqua o sbancamenti, possono agire negativamente sulle condizioni di equilibrio. Il territorio appare segnato da una rete di incisioni poco gerarchizzate che convogliano le acque meteoriche nel Fiume Simeto, livello di base del reticolo idrografico che scorre in una valle a fondo piatto tra lembi di alluvioni terrazzate, con locali processi di sovraincisione e scalzamento al piede dei versanti. L'area è caratterizzata, inoltre, da lembi di spianate d'abrasione fluvio-marina, poste a quote differenti che testimoniano le varie fasi di evoluzione morfologica cui il territorio è stato soggetto. La distribuzione delle pendenze del territorio è riportata in tabella 1.

Tab. 1: Valori delle pendenze in relazione della superficie occupata.

Classe	*Pendenza*	*%*	*Area [ha]*
A1	<10%	2	0,365
A2	10-20%	43	7,84
A3	20-30%	18	3,28
A4	>30%	37	6,75

12.5 Caratteristiche geologico-stratigrafiche

Il territorio in oggetto è caratterizzato da affioramenti sedimentari di età quaternaria, che mettono in evidenza i terreni basali dell’area etnea, successivamente ricoperti da colate laviche recenti.
L’area rappresenta la prosecuzione verso S-O delle Colline delle Terreforti affioranti lungo il margine meridionale dell’Etna, tra i centri urbani di Paternò e Catania.

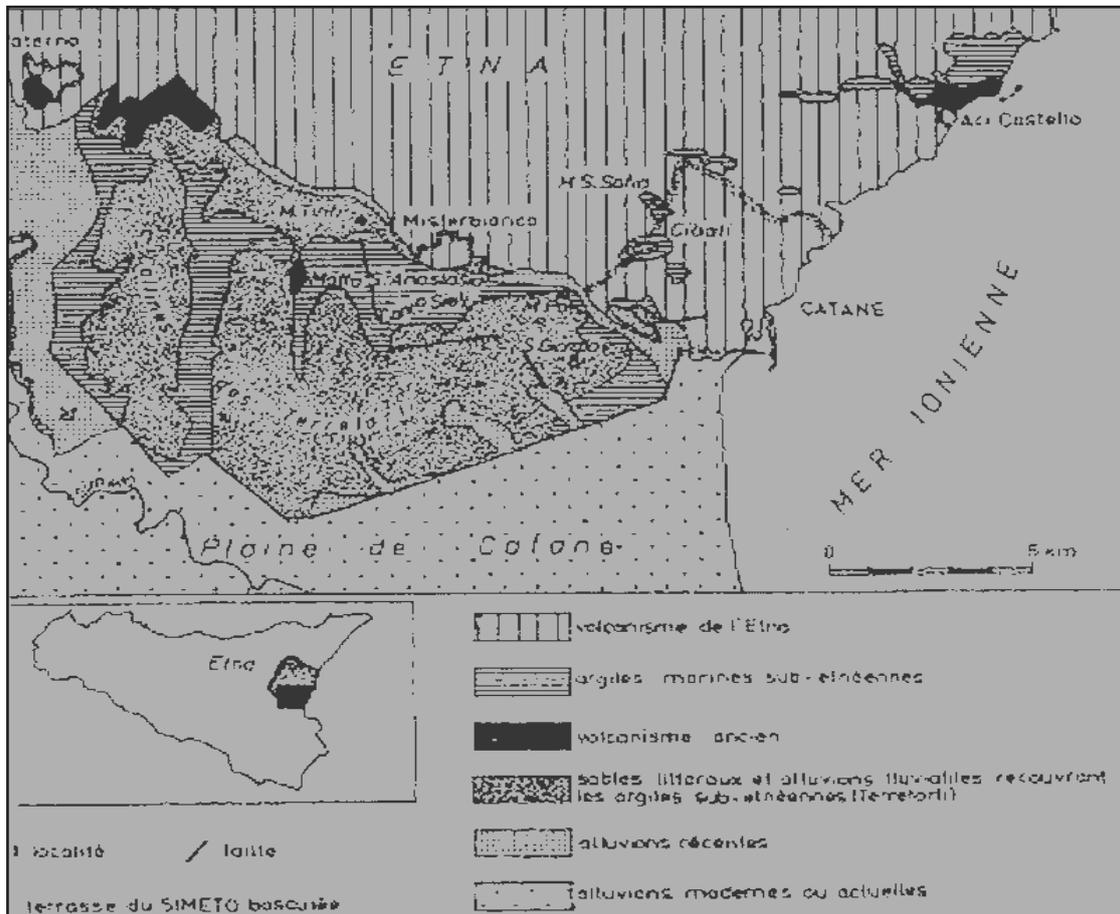



Fig.14: (da KIEFFER, 1985) Schema geologico dell’area circostante il comune di Motta S. Anastasia

Il Complesso delle Terreforti, costituito da ghiaie e conglomerati con intercalazioni di orizzonti sabbiosi laminati, di età supra-pleistocenica, rientra nel ciclo regressivo pleistocenico che ha caratterizzato la costa ionica (COSENTINO & GLIOZZI, 1988; MONACO, 1997; RUST & KERSHAW, 2000).
La suddetta area mostra, in affioramento, termini litologici che, procedendo dai più profondi verso quelli più superficiali, risultano caratterizzati dalla seguente successione:

- Argille marnose azzurre;
- Sabbie, arenarie e conglomerati;
- Lave subalcaline di base (Neck di Motta);
- Alluvioni terrazzate;
- Vulcaniti.

Argille marnose azzurre. Come definite da FRANCAVIGLIA & ACCORDI (1960), rappresentano la formazione di base del versante sud-orientale dell’edificio vulcanico etneo (Fig. 15).

Caratterizzate da una stratificazione indistinta e dal tipico colore grigio-azzurro, le argille sono, a volte, intervallate da livelli o lenti sabbioso-ghiaiose e da flussi lavici basaltici, analoghi a quelli affioranti ad Acitrezza, ove formano gli Scogli dei Ciclopi con il Faraglione Grande.

Fig.15: Affioramento su di una parete sub-verticale di argille marnose azzurre

I livelli superficiali, alterati e degradati meccanicamente, sono di colore più chiaro e suscettibili a fratturazione durante i periodi asciutti per il forte ritiro lineare e volumetrico; verso il basso passano ad argille compatte grigio-azzurre ed a stratificazione indistinta, in cui è possibile individuare, lenti e venature argilloso-sabbiose.

Sabbie, arenarie e conglomerati. Sulla formazione argillosa, giace una successione di sabbie con intercalati letti arenacei e lenti di argille sabbiose che passano verso l'alto a ghiaie, ciottoli e conglomerati poligenici in matrice sabbiosa, appartenenti al complesso delle *Colline delle Terreforti* (Fig. 16), la cui potenza in affioramento supera i 20-25 m.

Fig.16 : Parte sommitale delle " Colline delle Terreforti ", costituite da materiale eterometrico nonché eterogeneo

Si tratta di sabbie gialle fini ad elementi quarzosi, ben classate, a struttura laminata e stratificazione suborizzontale che, nella parte alta della formazione diventa inclinata, con sottili intercalazioni argillose e lenti di ghiaie e ciottoli (Fig. 17).

Fig. 17 : Affioramento di sabbie alla sommità di un dosso argilloso

Verso l'alto le sabbie passano a ghiaie e conglomerati costituiti da elementi poligenici ed eterometrici (Fig. 18), provenienti dallo smantellamento delle unità appenniniche *Kabilo-calabridi* e *Maghrebidi* che costituiscono il basamento dell'Etna, dato prevalentemente da quarzareniti e quarzosiltiti del *Flysch Numidico*, calcari, marne e, subordinatamente, da basalti vacuolari e frammenti di rocce cristalline (SCALIA, 1997), costituite da gneiss e scisti (CRISTOFOLINI, 1978; OGNIBEN, 1960; WEZEL, 1967), la cui frequenza sembra diminuire verso Ovest, cioè via via che ci si avvicina al corso attuale del Simeto, nella piana di Catania (ZUCCALA', 1954).

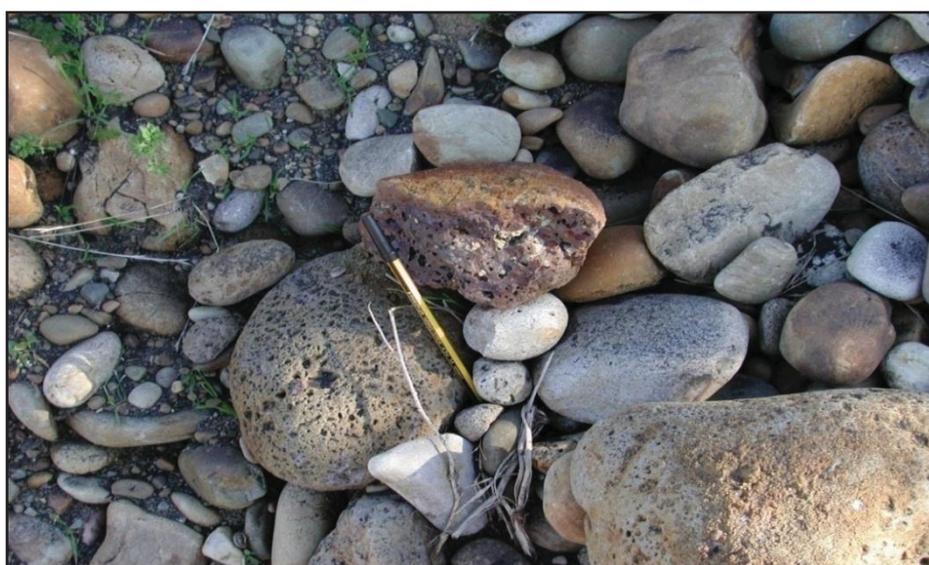



Fig.18: Il conglomerato delle Colline delle Terreforti con vulcaniti, arenarie, calcari e rocce cristalline

Lave subalcaline di base. Più a Nord, nell'ambito dei depositi quaternari di Motta S. Anastasia,

sono contenute lave a pillows di natura basaltica prodotte dall'attività vulcanica subacquea. Si tratta di un complesso lavico intensamente fessurato interpretato come massa magmatica superficiale iniettata lungo contatti subverticali nelle argille siciliane (CRISTOFOLINI & PUGLISI, 1974), denominato *neck di Motta S. Anastasia* (Fig. 4), risultato di una delle antiche manifestazioni vulcaniche etnee e rientrante, dal punto di vista composizionale, nel campo dei basalti sub-alcalini .
La rupe, che si erge sulla morfologia circostante, a causa dei processi di erosione selettiva è sede di crolli di materiale di dimensioni comprese tra i blocchi ed i ciottoli.
Al vulcanesimo di *Motta S. Anastasia* sono state assegnate diverse età (CONDOMINES & TANGUY, 1976; TANGUY, 1980; CONDOMINES et al., 1982; ROMANO, 1982; DUNCAN et al., 1984; KIEFFER, 1985) sulla base di osservazioni vulcanostratigrafiche generali o del confronto con antiche manifestazioni etnee, ma, fino ad ora, non sono state eseguite datazioni assolute (DEL NEGRO, 1988).

Alluvioni terrazzate fluvio-marine. Sono caratterizzate da materiale eterogeneo incoerente o poco coerente a matrice limoso-argillosa e subordinatamente limoso-sabbiosa con elementi più grossolani, dati da ghiaie e ciottoli.
L'originale copertura delle argille, costituita da sedimenti grossolani, erosa e successivamente rideposta nei solchi vallivi preesistenti, ha dato origine a terrazzi sviluppati tra Motta S. Anastasia e Paternò. Tali terrazzi, in funzione dei diversi Autori, risultano avere diversi ordini: sei secondo CRISTOFOLINI (1966), così come riportato anche da ACCORDI & FRANCAVIGLIA (1960), FRANCAVIGLIA (1962), OGNIBEN (1966) e WEZEL (1967), mentre, più recentemente, da MONACO, (1997), sono stati distinti cinque ordini di terrazzi con età compresa tra 330 Ka e 80 Ka, sulla base delle datazioni K-Ar effettuate su clasti vulcanici contenuti in tali depositi (ROMANO & GILLOT, 1987).

Vulcaniti. Si tratta di un complesso olocenico di colate laviche, rocce e piroclastiti riferibili agli espandimenti del Mongibello Recente i cui rapporti giaciturali con i depositi alluvionali sottostanti sono discordanti.
Caratterizzate superficialmente da zone a morfologia ben conservata o irregolarmente fratturata, le lave possono essere assimilate ad un ammasso roccioso poco coerente il cui comportamento meccanico risulta condizionato dalle caratteristiche delle discontinuità presenti in seno alla massa. Fra le diverse colate si trovano interposte, inoltre, coltri scoriacee accompagnate, localmente, da prodotti piroclastici, a volte, risedimentati (tufiti), mentre le lave compatte presentano una intensa fratturazione da ritiro per raffreddamento, articolata secondo piani ortogonali tra loro.

12.6 Caratteristiche geotecniche

L'impianto di discarica insiste sulle Argille marnose azzurre, degradate ed alterate nei livelli superficiali; risultano notevolmente incoerenti superficialmente, integre nei livelli inferiori, che mostrano una notevole consistenza. I termini superficiali presentano caratteristiche meccaniche scadenti, risultando caratterizzati dai seguenti parametri medi ottenuti in varie campagne geognostiche sul medesimo litotipo in aree limitrofe.

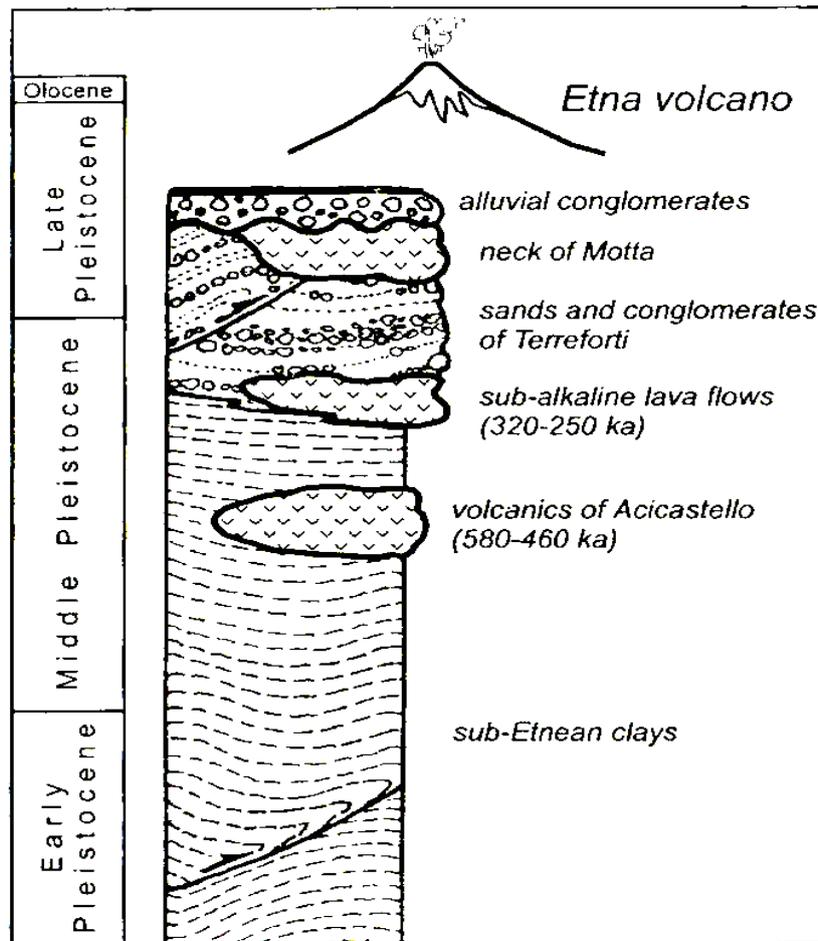



Fig.19: (da DEL NEGRO et Alii, 1988) – Sezione schematica della successione sedimentaria subetnea affiorante nel settore meridionale del vulcano (Colline delle Terreforti)

ARGILLE AZZURRE SUPERFICIALI ALTERATE E SFATTE

$CaCO_3$ = 12%	**Contenuto di carbonato di calcio**	
W_u = 24,33 %	**Umidità naturale**	
γ_a = 1,9 ÷ 2,04 gr/cc	**Densità apparente**	
γ_r = 2,60 ÷ 2,66 gr/cc	**Peso specifico dei grani**	
W_L = 68,45 %	**Limite di liquidità**	
W_P = 22,85 %	**Limite di plasticità**	
I_P = 45,64 %	**Indice di plasticità - alta plasticità -**	
I_C = 0,96 %	**Indice di consistenza - solido plastico -**	
E.L.L.	**s_f = 1,5 Kg/cmq** **C_u = 0,75 Kg/cmq**	**s_f = 5,5 Kg/cmq** **C_u = 1,25 Kg/cmq**
C.I.U.	**C_u = 0,30 ÷ 0,45 Kg/cmq** **φ_u = 12° ÷ 16°**	**C' = 0,02 Kg/cmq** **Φ' = 22° ÷ 27°**
E.L.I.	**K = 10^{-8} cm/sec (s = 12 Kg/cmq)**	

Argille azzurre integre

$CaCO_3$ = 11,6%	**Contenuto di carbonato di calcio**	
W_u = 26 %	**Umidità naturale**	
γ_a = 1,87 ÷ 2,01 gr/cc	**Densità apparente**	
γ_r = 2,50 ÷ 2,59 gr/cc	**Peso specifico dei grani**	
W_L = 66,30 %	**Limite di liquidità**	
W_P = 20,61 %	**Limite di plasticità**	
I_P = 45,54 %	**Indice di plasticità - alta plasticità -**	
I_C = 0,86 %	**Indice di consistenza - solido plastico -**	
E.L.L.	**s_f = 11 Kg/cmq** **C_u = 5,5 Kg/cmq**	
C.I.U.	**C_u = 0,73 Kg/cmq** **φ_u = 17° ÷ 22°**	**C' = 0,15 Kg/cmq** **Φ' = 22° ÷ 29°**
E.L.I.	**K = 10^{-8} cm/sec (s = 12 Kg/cmq)**	

12.7 Caratteristiche idrogeologiche

Sotto il profilo *idrogeologico,* le condizioni dell'area sono collegate a molteplici fattori quali i rapporti stratigrafici e la permeabilità dei tipi litologici, che risulta essere diversa in funzione della capacità dei terreni a lasciarsi attraversare dalle acque quando queste sono sottoposte ad un certo carico idraulico. L'area è per buona parte occupata da terreni a granulometria fine con valori di permeabilità dell'ordine di 3.5 10^{-8} cm/sec. La natura impermeabile del litotipo affiorante nell'area di discarica impone una circolazione idrica superficiale. I litotipi affioranti sono costituiti esclusivamente dalle argille marnose azzurre del Pleistocene medio-inferiore. Dalla Carta Idrogeologica del sito in questione e dalle indagini effettuate si evince che nell'area di discarica , sono presenti litotipi a permeabilità da bassa a bassissima in cui **non si rilevano falde freatiche.**
La circolazione idrica sotterranea è concentrata solo nei litotipi a permeabilità medio-alta, affioranti a sud-ovest dell'area di rispetto. Nell'acquifero si evidenzia la isopiezometrica 150 mt s.l.m.; il deflusso è verso sud. Le prescrizioni relative al controllo delle acque sotterranee, dunque, nel caso specifico non si applicano. Attualmente le acque meteoriche, sono convogliate in un condotto sviluppato in trincea a cielo aperto (dimensioni H = 60 cm; L = 2,5 m), e in tubazione interrata (diametro 90 cm), realizzato lungo il perimetro della discarica (Fig. 15).

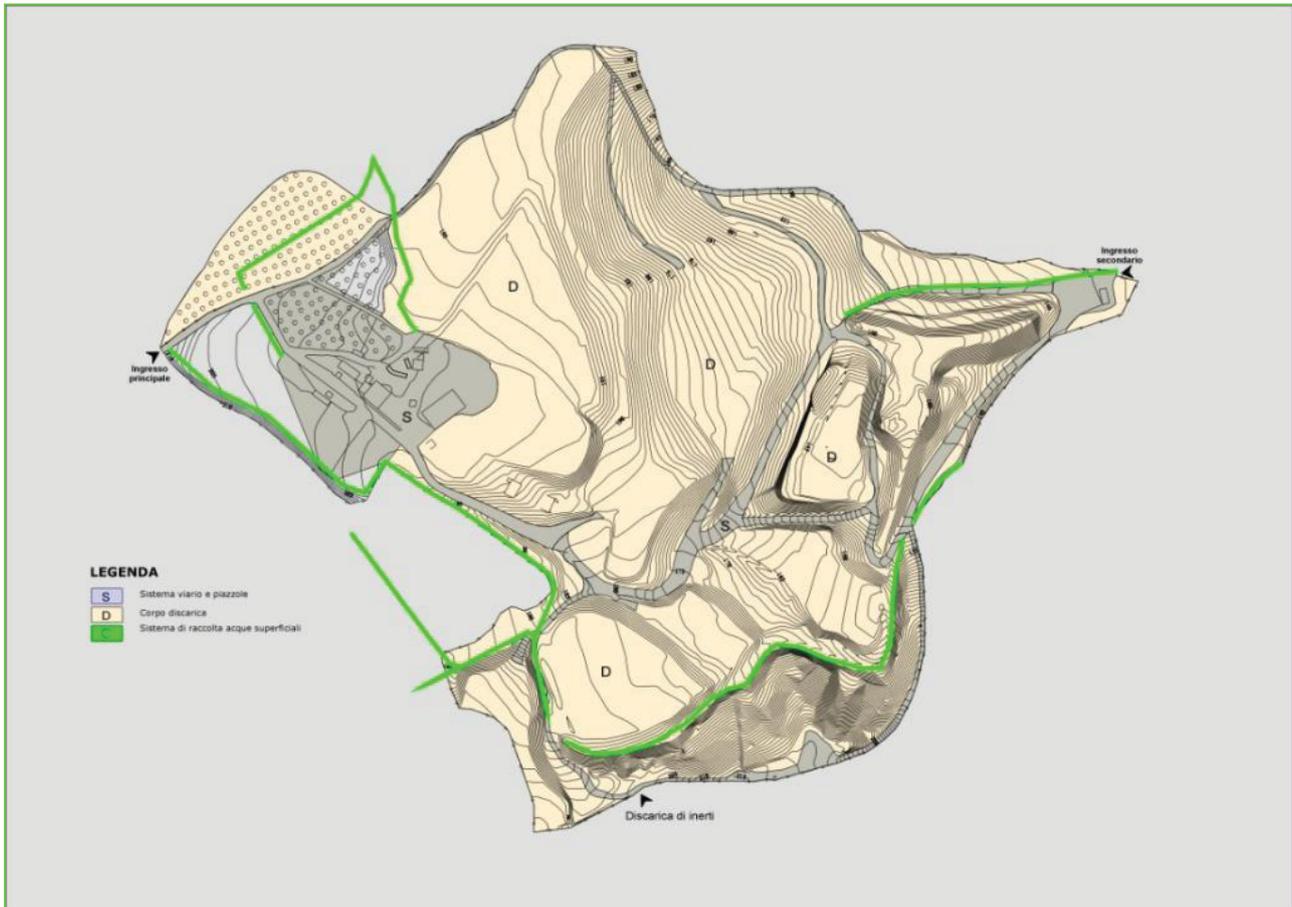



Fig. 20: Percorso delle acque meteoriche superficiali

La fase di gestione operativa si caratterizza per la realizzazione di terrazzamenti con pendenza (p) compresa tra il 4 ed il 15%, al fine di favorire il naturale ruscellamento delle acque piovane, ma evitare l'erosione superficiale. Per quanto concerne le acque superficiali, si è ottemperato a quanto previsto dal Decreto Legislativo 13 Gennaio 2003 allontanando le stesse per gravità dall'area dell'impianto; ciò è stato fatto mediante canalizzazioni dimensionate sulla base delle piogge più intense con tempo di ritorno di almeno 10 anni.

12.8 Criteri costruttivi dell'impianto di discarica

La normativa vigente in materia **D.Lgs. 36/2003 e successive modifiche** riporta i criteri costruttivi e gestionali richiesti per gli impianti per rifiuti non pericolosi e per rifiuti pericolosi. Nella fattispecie al punto *"PROTEZIONE DELLE MATRICI AMBIENTALI"* viene riportato quanto segue: *"Al fine di garantire l'isolamento del corpo dei rifiuti dalle matrici ambientali, la discarica deve soddisfare i seguenti requisiti tecnici:*

- ***sistema di regimazione e convogliamento delle acque superficiali;***
- ***impermeabilizzazione del fondo e delle sponde della discarica;***
- ***impianto di raccolta e gestione del percolato;***
- ***impianto di captazione e gestione del gas di discarica (solo per discariche dove sono smaltiti i rifiuti biodegradabili);***

- ***sistema di copertura superficiale della discarica.***

Deve essere garantito il controllo dell'efficienza e dell'integrità dei presidi ambientali (sistemi di impermeabilizzazione, di raccolta del percolato, di captazione gas, etc.), e il mantenimento di opportune pendenze per garantire il ruscellamento delle acque superficiali."

Le nuove strategie alla base delle azioni di controllo prevedono un sistema misto in cui i requisiti regolamentari tradizionali adottati per il corpo rifiuti sono integrati alla protezione delle matrici ambientali nell'ottica di trovare il giusto equilibrio fra la necessità di controlli ambientali essenziali e la protezione e tutela della salute e delle stesse risorse ambientali.

12.8.1 Requisiti tecnici adottati per l'isolamento del corpo rifiuti e dati costruttivi della discarica in Contrada Tiritì

12.8.1.1 SISTEMA DI REGIMAZIONE E CONVOGLIAMENTO DELLE ACQUE SUPERFICIALI

Allo scopo di minimizzare la penetrazione nel corpo rifiuti di acque meteoriche, si è realizzato un sistema che tenda ad agevolare il naturale deflusso delle acque attraverso una serie di prescrizioni:

- abbancamento dei rifiuti mediante terrazzamenti a pendenza >4%; ciò evita che le acque creino pantani, responsabili da un lato di favorire la penetrazione nel corpo rifiuti e dall'altro, di aggravare con ulteriore peso gli abbancamenti;
- canali di gronda naturali che garantiscano un allontanamento naturale dei flussi di acqua.

12.8.1.2 IMPERMEABILIZZAZIONE DEL FONDO E DELLE SPONDE DELLA DISCARICA

La configurazione topografica del sito presenta un'acclività naturale che offre al corpo rifiuti delle sponde naturali solo lungo due dei lati del perimetro; per i restanti due lati la configurazione finale della discarica prevede terrazzamenti. L'impermeabilizzazione del fondo e delle sponde è garantito dal naturale strato di base che funge da fondo vasca che, per le sue caratteristiche di bassa permeabilità (Coefficiente di permeabilità $K = 10^{-8}$ cm / s) crea una barriera naturale tanto alla base del corpo rifiuti, tanto alle sponde, laddove presenti.

12.8.1.3 CONTROLLO DELLE ACQUE METEORICHE E GESTIONE DEL PERCOLATO

Allo scopo di mantenere isolato il corpo rifiuti nei confronti delle matrici ambientali, nello specifico per evitare inquinamenti di suolo e sottosuolo, la discarica è dotata di un impianto di raccolta e gestione del percolato che verrà di seguito illustrato. La normativa di riferimento stabilisce regole di compatibilità in relazione al controllo delle acque e alla gestione del percolato dettando misure per limitare la quantità di acqua piovana in grado di penetrare nel corpo della discarica, impedendo che le acque superficiali entrino nei rifiuti, indirizzando le acque e il percolato in appositi canali di scarico. Lo sviluppo della condotta è stato progettato tenendo conto dell'attuale morfologia della discarica, della quale è stato realizzato un modello tridimensionale digitalizzato, mediante rilevamento topografico. Le tubazioni sono collocate in modo da evitare alterazioni delle caratteristiche fisico - chimiche dei terreni ed eventuali fenomeni d'instabilità. Il progetto di raccolta delle acque meteoriche in fase di copertura, prevede di norma al piede e alla testa di ciascun versante di abbancamento, la disposizione di canalette di raccolta delle acque, le cui dimensioni sono riportati nella figura seguente.

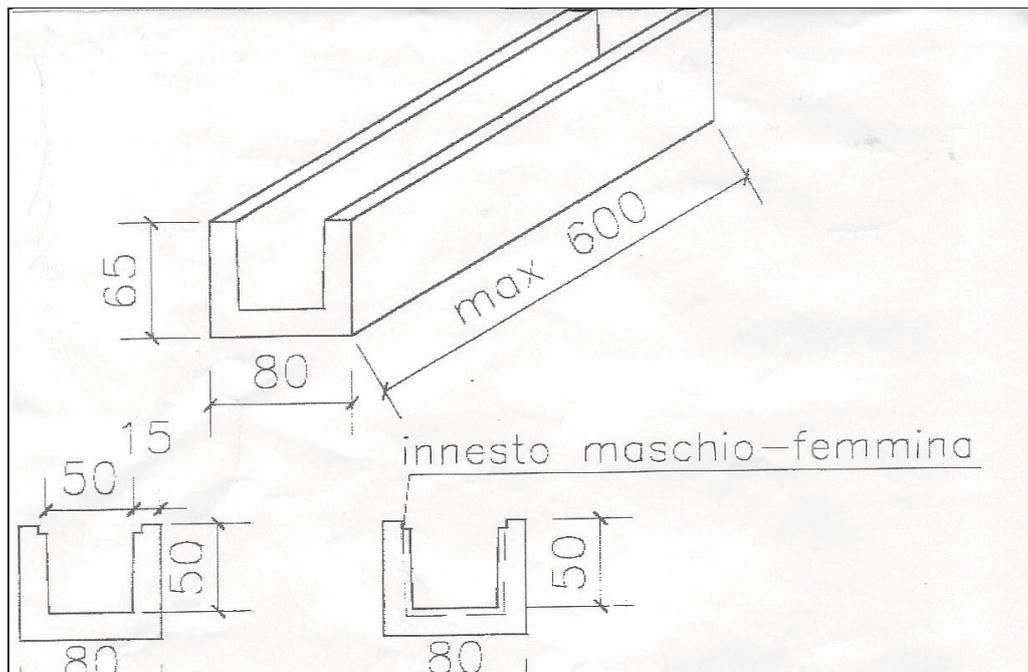



Fig. 21: Schema tipo canaletta per lo smaltimento delle acque superficiali.

Inoltre, sul pendio è stata disposta una rete di captazione ad embrici, caratterizzata da uno sviluppo a spina di pesce, al fine di evitare l'asportazione delle particelle di terreno dovuta alle acque di scorrimento superficiale, essendo la pendenza maggiore del 15%, limite oltre il quale inizia l'erosione del suolo. Nei punti di intersezione di due canali, al fine di annullare la turbolenza delle acque, è stato installato un pozzetto; questo è dotato di una pompa, di adeguata portata, che mediante tubazione di rilancio convoglierà le acque in un tratto di canale da cui la stessa possa defluire naturalmente. L'impianto è dotato di una pompa di riservare per far fronte ad eventuali imprevisti. Sarà cura della ditta provvedere alla manutenzione periodica delle canalette, per garantire il passaggio delle acque nel modo migliore, e delle pompe, per mantenerle sempre perfettamente funzionanti. Durante il periodo estivo si provvederà all'aspersione periodica con acque, delle argille, al fine di limitare polvere ed essiccamento eccessivo.
Il capping verrà realizzato attraverso un sistema di copertura multistrato composto da uno strato drenante, seguito da uno impermeabilizzante di argilla e geomembrana impermeabile a chiusura; seguiranno uno strato drenante e un orizzonte di terreno vegetale. Relativamente ai versanti più acclivi si procederà alla riprofilatura degli stessi; contemporaneamente è previsto l'inerbimento dei pendii. Il sistema di raccolta del percolato è stato progettato e sarà gestito in modo da:

- minimizzare il battente idraulico di percolato sul fondo della discarica al minimo compatibile con i sistemi di sollevamento e di estrazione;
- prevenire intasamenti od occlusioni per tutto il periodo di funzionamento previsto;
- resistere all'attacco chimico dell'ambiente della discarica;
- sopportare i carichi previsti.

Il percolato e le acque raccolte devono essere trattate in impianto tecnicamente idoneo di trattamento al fine di garantirne lo scarico nel rispetto dei limiti previsti dalla normativa vigente in materia. Nello specifico attualmente il sistema di raccolta del percolato è costituito da:

- ✓ uno **strato drenante** disposto sul fondo della discarica, per la captazione del percolato e il

convogliamento verso tubazioni di raccolta;

- ✓ una rete di **tubazioni orizzontali** che permette di raccogliere il percolato e convogliarlo nei pozzi di raccolta;
- ✓ un sistema di **drenaggi verticali** (costituito da pozzi localizzati nell'area in cui si rilevano accumuli di percolato in maggiori quantità) dotati di pompe di aspirazione, che si sviluppano lungo tutta l'altezza della vasca, costituenti vie preferenziali per la migrazione del percolato verso il fondo, oltre ad assumere la funzione di **pozzi di verifica e controllo** per l'efficienza del sistema;
- ✓ **pozzi di raccolta**, accessibili per ispezioni e manutenzione, dove confluiscono le tubazioni e nelle quali il liquido giunge per caduta o per pompaggio prima di passare definitivamente nella vasca di raccolta finale;
- ✓ **vasca di raccolta finale**, in cui il percolato arriva per caduta o pompaggio.

L'attuale sistema di captazione costituisce, dunque, l'implementazione di un sistema preesistente, quest'ultimo costituito da uno strato drenante di base a granulometria variabile all'interno del quale è localizzata la rete di tubazioni suddetta in HDPE; la rete convoglia il percolato prodotto a due pozzi di raccolta strategicamente localizzati che lo inviano, tramite tubazioni a pressione, alla vasca di raccolta. L'impianto attuale è costituito da una serie di pozzi di ispezione inseriti allo scopo di monitorare il sistema di raccolta e captare eventuali accumuli di percolato ed indirizzarli con opportune tubazioni alla vasca di raccolta.

12.8.1.4 STRATO DRENANTE

Lo strato drenante disposto sul fondo della discarica ha il compito di raccogliere il percolato proveniente direttamente dai rifiuti e convogliarlo verso le tubazioni di raccolta.
I dreni sono costituiti da uno strato di pietrisco di 100 cm, sono realizzati sopra un sottofondo di argilla che funge da impermeabilizzante naturale ed evita l'infiltrazione del liquido inquinante.
I dreni sono realizzati con materiale avente granulometria di 20 mm minimo con contenuto di fine (passante 200 ASTM) < 5% e di carbonati < 2 %.

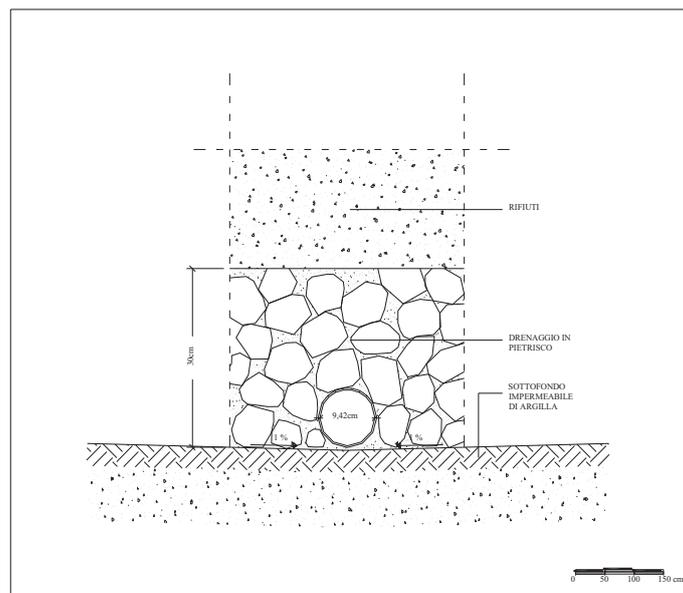



Fig.22: Particolare dreno.

12.8.1.5 CANALI DI RACCOLTA

La rete è così strutturata:

- rami principali, realizzati con tubature in HDPE, aventi diametro di 200 mm, ispezionabili con sonde TV, posizionati nel fondo della discarica in corrispondenza delle linee di compluvio sullo strato impermeabilizzante che convogliano le acque di percolato raccolte verso i pozzi di raccolta;
- rami secondari, con diametro di 150 mm, posti all'interno di trincee di ghiaia e disposti lungo le linee di massima pendenza.

Le tubazioni con **pendenza del 3 %** sono disposte con una distanza non superiore ai 50-60 m, per consentire la conservazione dell'efficienza del sistema anche in seguito ad eventuali danni ad una o più tubazioni. Vengono impiegati **collettori di drenaggio** in plastica flessibile (HDPE) che sono in grado di deformarsi garantendo una distribuzione degli sforzi ed una deviazione del carico esterno sul letto di posa. I collettori hanno fessure di lunghezza 5 mm in modo di garantire un'area di afflusso di almeno 100 cm^2/m di lunghezza.

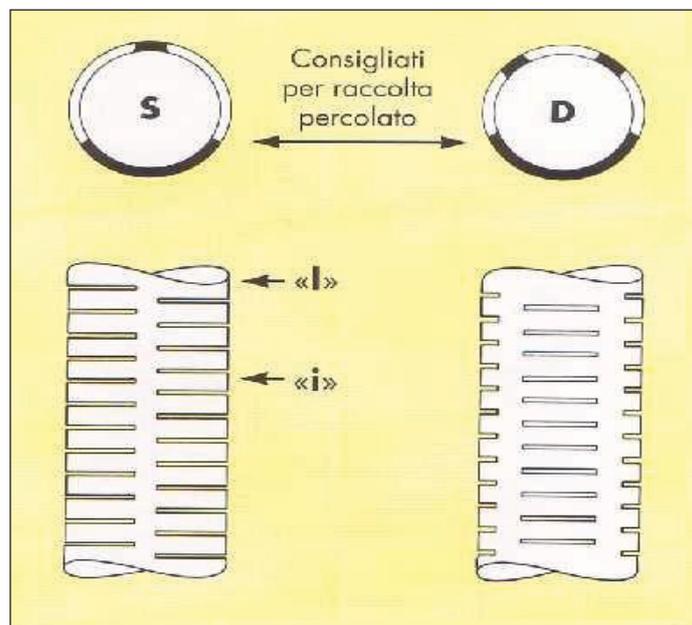



Fig.23: Particolare tubazione.

Le tubazioni di drenaggio del fondo della vasca sono inaccessibili per cui non è possibile effettuare su di essi alcun controllo diretto; la loro efficienza è rilevabile indirettamente misurando il percolato raccolto per ogni braccio del sistema. La presenza di variazioni nella quantità misurata giornalmente sarà indice di malfunzionamento e si potrà procedere alla realizzazione di drenaggi verticali nelle zone interessate da anomalie. Detti drenaggi sono stati collegati con opportuni dispositivi di indicazione del livello del battente idraulico, nonché di apposita pompa di aspirazione che permette di trasferire il liquido prodotto nella vasca di raccolta, per il successivo smaltimento.

Secondo quanto prescritto dal Decreto Commissariale, sono stati installati sensori e segnalatori automatici in grado di evidenziare "anomalie" nei livelli di umidità usuali al fine di individuare perdite di percolato dalle strutture idrauliche sepolte, sia per quelle esistenti che per quelle di nuova realizzazione. Le variazioni temporali dei tenori di umidità, in riferimento alla situazione iniziale, consentono di segnalare fughe del contaminante liquido dal fondo della struttura monitorata.

Il sistema si completa con l'inserimento di misuratori di portata per il percolato raccolto nei pozzetti di raccolta. L'impiego di timer collegati alle singole pompe permette di effettuare un controllo giornaliero sull'efficienza del sistema in quanto una diminuzione repentina dei valori registrati sarà indicativa di eventuali anomalie al sistema.

12.8.1.6 POZZI DI CONTROLLO

Questi sono distribuiti lungo tutto lo sviluppo dell'impianto ed hanno il duplice compito di facilitare il drenaggio del percolato verso il fondo della vasca e permettere un costante controllo sull'efficienza del sistema. Infatti tramite un semplice esame a vista o opportune misure dirette sulla portata di percolato prodotto in ogni pozzo, è possibile rilevare, in tempo reale, eventuali anomalie nel sistema. I pozzi di controllo sono disposti in posizione strategica e si distinguono in:

- pozzi in cemento armato con diametro di 100 cm;
- pozzi realizzati con elementi in HDPE, posti in opera con uno scavo di 600 cm di diametro e con camicia di 400 cm. Le teste di pozzo sono del tipo a "TEE" in PEAD ϕ 200 mm PN6 H= 1500 con flangia e contro-flangia superiore in HPDE, con derivazione laterale completa di cartella in PEAD e flangia libera e con n. 2 prese di controllo con valvola a sfera in PVC D1/2. Il corpo del pozzo è realizzato in PEAD per drenaggio, con bicchiere di giunzione.

Il liquido viene convogliato nei pozzi di raccolta posizionati a valle del sistema di drenaggio e, da questi, alla vasca di raccolta finale tramite pompaggio. I pozzi di recente realizzazione hanno diametro diverso in funzione delle necessità; sono dotati di un segnalatore di livello elettrico e di una elettropompa. Sono posti su piastre di fondazione in cemento armato e ubicati in posizione eccentrica rispetto ai collettori longitudinali per evitare rotture per taglio dovute ai carichi differenziali fra colonne di ghiaia e di rifiuti. Quando il livello di liquido raccolto in ogni pozzo supera il limite di sicurezza, si attivano automaticamente la pompe che aspirano il percolato e lo riversano nel pozzo di raccolta. I nuovi pozzi saranno dotati di sensore di livello per il controllo del battente idraulico degli eluati provenienti dalla discarica.

12.8.1.7 POZZI DI RACCOLTA

I pozzi di raccolta del sistema originario sono realizzati in conglomerato cementizio e sono disposti in numero pari a 2 al fine di captare tutto il percolato raccolta dalle apposite tubazioni.
Il percolato raccolto viene convogliato alla vasca finale per caduta o, quando la pressione non è sufficiente, tramite pompaggio. Per l'estrazione del percolato le pompe utilizzate sono del tipo DYNAPAC DC180, le cui caratteristiche non sono riportate.

12.8.1.8 VASCA RACCOLTA PERCOLATO

Il percolato viene raccolto in una vasca ubicata in prossimità dell'ingresso secondario, nell'area più a sud ed alla quota più bassa della discarica, a circa +130 m sul livello del mare, così da far confluire in essa per gravità la maggiore quantità di liquido possibile.
Nel progettarla si è tenuto conto di vari fattori tra i quali:

- la quota e la natura geologica del terreno;
- la capacità di contenimento;
- la possibilità per le autocisterne di accostarsi agevolmente per l'estrazione e il trasporto del percolato;
- la facilità di manutenzione e d'ispezione del suo interno;
- la struttura e il rivestimento.

La vasca è di forma parallepipeda, con lato maggiore di 4,66 m e minore di 6,73 m. L'altezza è variabile: il primo tratto, *vasca di decantazione*, è alto 1,70 m, quello centrale, più ampio, è alto 5,20 m, quello finale, *vasca di raccolta,* è 5,80 m. La vasca è parzialmente fuori terra, per 2,24 m. Nella progettazione delle fondazioni si è tenuto conto della natura argillosa del terreno e dell'assenza di falde acquifere: è stata realizzata una trave perimetrale larga 0,50 m e alta 1,00 m, collegando ai due lati maggiori e ortogonalmente ad essa delle travi della stessa dimensione. Gli spazi tra una trave e l'altra sono stati colmati da calcestruzzo costituendo così una sorta di platea. Il volume della vasca è pari a 350 m^3 dimensionata per produzione giornaliera di percolato da 20 m^3 nella stagione estiva e 30 m^3 nella stagione invernale ed è quindi in grado di sopportare i carichi previsti. Come già ampiamente descritto la quantità di percolato prodotto in discarica è funzione dei volumi d'acqua in ingresso e dai processi fisico-chimici, nonché biologici, che avvengono nel "reattore" discarica. Sulla base di tali considerazioni, si è proceduto, quindi, a stimare la quantità di percolato prodotto applicando una formula del bilancio idrologico dell'area.
Il valore teorico medio di percolato prodotto in un anno è di circa 19.000.000 l/anno, essendo la superficie della discarica 350.000 m^2. Il percolato migra dai pozzi di raccolta distribuiti lungo la discarica alla vasca di decantazione tramite tubi in HPDE; qui avviene un primo deposito per sedimentazione della sua parte meno fluida: per facilitarne la rimozione è stata prevista una altezza del serbatoio di 1,70 m. All'estremità opposta sta la vasca di raccolta dalla quale si estrae il liquido per caricarlo sulla cisterna con un'elettropompa. La maggiore profondità di quest'ultima consente che la pompa rimanga sempre immersa nel liquido anche in caso di prosciugamento delle altre parti del contenitore. Nel caso di guasti al sistema elettrico, l'estrazione del percolato dalla vasca e il conseguente smaltimento è effettuato grazie all'impiego di un motocompressore portatile del tipo DYNAPAC DDE100 .
La struttura della vasca è in calcestruzzo armato; il suo interno è rivestito di uno strato di materiale impermeabilizzante, della stessa composizione, spessore e modalità di applicazione previste dai Decreti per rivestire il fondo di una discarica, ottenendo così una maggiore sicurezza. La copertura, accessibile per mezzo di una scala in acciaio, posta a fianco dell'involucro, è costituita da una serie di piastre di collegamento in c.a. alternate a lastre in metallo apribili, larghe circa 1,60 m, che consentono una agevole manutenzione e pulizia del contenitore. Per quanto riguarda le opere di adeguamento riguardanti la vasca di raccolta del percolato, si mantengono inalterate le ipotesi progettuali formulate nel Piano di Adeguamento che prevedono:

- ✓ <u>Installazione di sensori</u>, da disporre sul terreno a contatto col fondo e i lati della vasca; trattasi di rilevatori di variazione di umidità e quindi di rottura localizzata del contenitore;
- ✓ <u>Asportazione della massa di terreno</u> che circonda la vasca così da disporla del tutto fuori terra; inserire dei micropali in conglomerato nella fascia perimetrale della costruzione per costipare il terreno circostante ed evitare possibili frane; poiché la vasca di decantazione verrebbe ad essere sospesa, cioè a sbalzo su uno dei lati più corti dell'intera struttura, si è pensato di ovviare a ciò realizzando due pilastri di sezione 0,30 x 0,30 m, sotto la fondazione della stessa vasca ed aventi essi stessi una fondazione nastriforme;
- ✓ <u>Creazione di un bacino di contenimento</u> di volume pari a quello della vasca che raccoglie il percolato in caso di rottura della vasca, evitando così la dispersione nel terreno. Si tratta di una misura estremamente cautelativa, in quanto è assai remota la possibilità che in tale manufatto, realizzato con un'armatura in acciaio FeB 44K e cemento 425 Kg/cmq, valori superiori a quelli di progetto, si determini una rottura localizzata e che prima ancora si laceri

lo strato di impermeabilizzazione di cui esso è rivestito Le condizioni di massima sicurezza dettate dal legislatore per le discariche esistenti, sarebbero largamente soddisfatte applicando soltanto i sensori. Il bacino di contenimento circonderebbe la vasca per una larghezza di 2,50 m fatta eccezione per il lato corto della vasca di raccolta dal quale ci si discosterebbe per solo 1,50 m consentendo l'accostamento dell'autocisterna. Sarebbe costituito da un muro di sostegno in c.a. che ingloberebbe i pali precedentemente infissi per la costipazione del terreno ed avrebbe fondazione alla stessa quota di quella della vasca. Sarebbe delimitata inferiormente da un solaio in calcestruzzo poggiato su un vespaio e superiormente da una copertina in lamiera incernierata per un lato alla parete della vasca per consentire l'ispezione. Inoltre avrebbe come rivestimento interno uno strato di impermeabilizzante analogo a quello adoperato per la vasca.

12.8.1.9 SMALTIMENTO DEL PERCOLATO

Il trattamento del percolato, avviene in siti diversi dalla discarica in esame. La ditta compila il formulario di identificazione dei rifiuti, in riferimento all'art. 10, comma 3, del D.Lgs. 22/97, che oltre al compito di accompagnare il trasporto del rifiuto, esonera dalla responsabilità il produttore del rifiuto, nel caso di scorretto smaltimento o recupero da parte, sia del soggetto che ha preso in carico il rifiuto, sia del destinatario.

Il legislatore prevede per lo smaltimento e il trattamento del percolato di rifarsi alla legislazione vigente in materia di depurazione delle acque. La Ditta adotta già tutte le misure previste e non necessita di alcun accorgimento particolare relativo a questo settore non effettuando operazioni né di trattamento né di smaltimento dell'eluato.

12.8.1.10 BARRIERA GEOLOGICA

L'analisi comparata di tutti gli elementi permette di formulare un quadro coerente delle condizioni sussistenti nel territorio esaminato, consentendo di valutare il grado di idoneità naturale del territorio ad accogliere insediamenti a rischio di inquinamento.

Il grado di idoneità del comparto territoriale esaminato viene definito in relazione alla vulnerabilità all'inquinamento delle acque superficiali, del suolo e delle risorse idriche sotterranee, alle caratteristiche geotecniche dei terreni, al grado di protezione del territorio nei confronti di eventuali processi geomorfologici attivi. Dal punto di vista idrogeologico vengono prese in considerazione le condizioni di protezione naturali o intrinseche del sito rispetto ai fenomeni di inquinamento delle acque sotterranee nonché i fattori che rivestono un ruolo preponderante nella determinazione della vulnerabilità intrinseca all'inquinamento.

Studi geologici condotti sul sito hanno permesso di valutare i seguenti parametri:

- conducibilità idraulica: K ≈ 10-8 cm/sec;
- spessore: s = ~ 100 m

Inoltre, i parametri medi ottenuti in varie campagne geognostiche sul medesimo litotipo in aree limitrofe rivelano i valori di permeabilità di seguito riportati.

Argille azzurre superficiali alterate e sfatte

E.L.I.	$K \approx 10^{-8}$ cm/sec (s = 12 Kg/cmq)

Argille azzurre integre

E.L.I.	$K \approx 10^{-8}$ cm/sec (s = 12 Kg/cmq)

12.8.1.11 COPERTURA FINALE

Secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia di discariche, la copertura superficiale finale della discarica deve rispondere ai seguenti criteri:

1 isolamento dei rifiuti dall'ambiente esterno;
2 minimizzazione delle infiltrazioni d'acqua;
3 riduzione al minimo della necessità di manutenzione;
4 minimizzazione dei fenomeni di erosione;
5 resistenza agli assestamenti ed a fenomeni di subsidenza localizzata.

Allo scopo di garantire quanto sopra esplicitato, per il corpo discarica è prevista la realizzazione di una copertura finale costituita, dall'alto verso il basso, da:

- strato superficiale di copertura con spessore ≥ 1 m che favorisca lo sviluppo delle specie vegetali di copertura ai fini del piano di ripristino ambientale e fornisca una protezione adeguata contro l'erosione e di proteggere le barriere sottostanti dalle escursioni termiche;
- strato drenante protetto da eventuali intasamenti con spessore ≥ 0.5 m in grado di impedire la formazione di un battente idraulico;
- strato minerale compatto dello spessore ≥ 0.5 m e di conducibilità idraulica di $\geq 10^{-8}$ cm/sec o di caratteristiche equivalenti, integrato da un rivestimento impermeabile superficiale per gli impianti di discarica di rifiuti pericolosi;
- strato di drenaggio del gas e di rottura capillare, protetto da eventuali intasamenti, con spessore ≥ 0.5 m;
- strato di regolarizzazione con la funzione di permettere la corretta messa in opera degli strati sovrastanti.

La disposizione finale della copertura avrà, inoltre, pendenze $15\% > p > 4\%$ per garantire il normale deflusso delle acque meteoriche, ma evitare l'erosione superficiale.

12.8.1.12 GESTIONE DEL BIOGAS

12.8.1.12.1 Premessa

Come imposto dalla normativa vigente, le discariche che accettano rifiuti biodegradabili devono essere dotati di impianti per l'estrazione dei gas che garantiscano la massima efficienza di captazione e il conseguente utilizzo energetico.

La gestione del biogas deve essere condotta in modo tale da ridurre al minimo il rischio per l'ambiente e per la salute umana; l'obiettivo è quello di non far percepire la presenza della discarica al di fuori di una ristretta fascia di rispetto. Poiché il naturale assestamento della massa dei rifiuti depositati può danneggiare il sistema d'estrazione del biogas, è indispensabile un piano di mantenimento dello stesso, che preveda anche l'eventuale sostituzione dei sistemi di captazione deformati in modo irreparabile. E' inoltre indispensabile mantenere al minimo il livello del percolato all'interno dei pozzi di captazione del biogas, per consentirne la continua funzionalità, anche con sistemi di estrazione del percolato eventualmente formatosi; tali sistemi devono essere compatibili con la natura di gas esplosivo, e rimanere efficienti anche nella fase post-operativa.

Il sistema di estrazione del biogas deve essere dotato di sistemi per l'eliminazione della condensa; l'acqua di condensa può essere eccezionalmente reimmessa nel corpo della discarica.
Il gas deve essere di norma utilizzato per la produzione di energia, anche a seguito di un eventuale trattamento, senza che questo pregiudichi le condizioni di sicurezza per la salute dell'uomo e per l'ambiente. Nel caso di impraticabilità del recupero energetico la termodistruzione del gas di discarica deve avvenire in idonea camera di combustione a temperatura T>850°, concentrazione di ossigeno ≥ 3% in volume e tempo di ritenzione ≥ 0,3 s.
Il sistema di estrazione e trattamento del gas deve essere mantenuto in esercizio per tutto il tempo in cui nella discarica è presente la formazione del gas e comunque per il periodo necessario, come indicato all'articolo 13, comma 2.
La normativa vigente richiede:

- la realizzazione di pozzi verticali di estrazione con un diametro di perforazione > 300 mm. e con un raggio di influenza medio di 20 m. I pozzi devono essere collegati fra di loro e in aspirazione e convogliati ad un combustore adiabatico (refrattariato) con una temperatura di combustione > 900° C e con un tempo di residenza minimo di 0,3 sec;
- analisi dell'ossigeno sulle linee principali e in centrale, ogni pozzo deve essere munito di valvola di regolazione della portata per la gestione della pressione che deve essere regolamentata automaticamente, e deve essere misurata la temperatura in combustione;
- misure in continuo come in fase operativa;
- analisi periodiche sul biogas e sulle emissioni con frequenza da definirsi in funzione dei risultati ottenuti durante la fase operativa;
- verifica semestrale sull'efficienza dell'impianto di captazione, tramite misure della portata e composizione (CH_4, $C0_2$, 0_2) del biogas aspirato dai pozzi, misura della pressione residua su ciascun pozzo a linea chiusa e confronto tra la portata captata e la produzione teorica;
- manutenzione dell'impianto di aspirazione e combustione come da manuale di gestione dell'impianto;
- rilevazione della presenza di biogas all'esterno della discarica e nei pozzi di controllo come in fase operativa.

Inoltre, ai fini del monitoraggio dell'aria, occorrerà valutare:

- le caratteristiche meteoclimatiche dell'ambito territoriale dove è posta la discarica, attraverso l'ubicazione all'interno del sito di una stazione per il rilevamento (in continuo) dei parametri più importanti; l'apparecchiatura base sarà costituita da termoigrometro, tacoanemometro, gonioanemometro, pluviometro, barometro e radiometro;
- le caratteristiche chimico-fisiche del biogas, attraverso l'impiego di tecniche mirate (termografia) per l'individuazione di eventuali aliquote che sfuggono al sistema di raccolta, disperdendosi nell'aria e/o migrando nel suolo; in tal caso, delimitata l'area di dispersione del biogas, si dovrà provvedere alle analisi delle concentrazioni dei componenti campionati secondo cicli regolari e in corrispondenza di punti fissi ubicati in modo da consentire di seguire l'evoluzione spaziale e temporale del fenomeno.

Infine, per il monitoraggio dello strato insaturo, poiché questa porzione di suolo posta tra il fondo della discarica e il pelo libero della falda può essere interessato dalla presenza di una fase liquida (percolato ed eluati) e di una fase gassosa (biogas), attraverso l'impiego di lisimetri opportunamente ubicati, occorrerà verificare l'eventuale presenza di biogas. Sui microcampioni raccolti con i lisimetri dovranno misurarsi i tenori dei principali componenti di gas (O_2, N_2, CO_2, CH_4) e i

principali parametri chimico-fisici del liquido e cioè pH, conducibilità elettrica, NH_4 ,Cl, BOD_5 e COD.
Il **Piano di gestione dei rifiuti in Sicilia** stabilisce ulteriori prescrizioni in relazione al dimensionamento dell'impianto di captazione.
L'impianto di captazione del biogas deve comunque essere dimensionato per il valore massimo di portata oraria estraibile, calcolata con modello previsionale per l'anno di maggiore produzione, con dovuto margine di sicurezza. I sistemi di captazione orizzontali vanno adottati con una progettazione e gestione che preveda un rigoroso controllo dei battenti di percolato.
Per i sistemi di estrazione verticali la distanza tra i singoli pozzi non deve in nessun caso essere superiore a 50 m con un raggio di influenza mediamente pari a 20 m. Tale distanza può essere ridotta valutando lo spessore dei rifiuti, la vicinanza al confine e le finalità della captazione (bonifica o recupero energetico). L'adozione di pozzi verticali realizzati in elevazione durante la gestione della discarica deve tenere conto delle difficoltà e dei rischi operativi connessi alle operazioni di conferimento e compattazione. La sigillatura sommitale sarà effettuata con materiale impermeabilizzante (argilla o bentonite). I tubi devono essere finestrati interessando l'intera lunghezza del tubo, fatto salvo il tratto terminale di 2-3 m.
Devono essere effettuate analisi dell'ossigeno sulle linee principali e in centrale; ogni pozzo deve essere munito di valvola di regolazione della portata per la gestione della pressione che deve essere regolamentata automaticamente, e deve essere misurata la temperatura in combustione. Il sistema di estrazione e trattamento del gas deve essere mantenuto in esercizio per tutto il tempo in cui nella discarica è presente la formazione del gas stesso e comunque per un periodo necessario.
Le discariche sono sorgenti significative di metano (CH_4) e diossido di carbonio (CO_2). In aggiunta a questi due gas sono prodotte anche minori quantità di composti organici non metanici tra i quali alcuni composti organici volatili reattivi e pericolosi.
Il metano ed il diossido di carbonio sono i costituenti primari di quello che viene comunemente chiamato "biogas" e sono prodotti durante la decomposizione anaerobica della cellulosa e delle proteine presenti nei rifiuti smaltiti in discarica che vengono inizialmente trasformati in zuccheri, poi in acido acetico principalmente ed, infine, in CH_4 e CO_2.
La decomposizione anaerobica ha luogo in assenza di ossigeno ed è un processo complesso nel quale le condizioni ambientali giocano un ruolo fondamentale. Tra i fattori ambientali più importanti sono da considerare:

- il contenuto d'acqua del rifiuto;
- la presenza e distribuzione dei microrganismi;
- la concentrazione di nutrienti necessaria alla loro sussistenza e riproduzione;
- la pezzatura media e la composizione dei rifiuti;
- il pH e la temperatura all'interno del cumulo di rifiuti;
- l'eventuale infiltrazione di acqua.

A causa della complicata combinazione di condizioni che devono concorrere per poter osservare la generazione di biogas, i rifiuti possono rimanere inattivi anche per più di un anno, prima che inizi la decomposizione anaerobica e venga prodotto il biogas.
La generazione del biogas avviene attraverso quattro fasi caratteristiche di tutto il ciclo di vita della discarica:

- Aerobica;
- Anaerobica, non-metanica;

- Anaerobica, metanica, non-stazionaria;
- Anaerobica, metanica, stazionaria.

Durante tali fasi varia sia la velocità di formazione del biogas, sia la sua composizione.

Il contenuto di azoto (N_2) nel biogas è inizialmente elevato nella prima fase aerobica e decresce molto velocemente durante la seconda e terza fase; queste, entrambi anaerobiche. Nella quarta fase la produzione di biogas raggiunge condizioni di quasi stazionarietà e la composizione del biogas non varia quasi più.

Il biogas dopo aver attraversato i rifiuti e lo strato di copertura, migra nell'atmosfera e da ciò possono derivare problemi alla salute dell'uomo, alla vegetazione ed alla fauna. Questo spiega la necessità di dotare le discariche di appositi sistemi di raccolta e captazione del biogas.

Per la captazione del biogas possono essere usati sistemi “attivi” o “passivi”: utilizzando sistemi attivi si fornisce artificialmente un gradiente di pressione mediante soffianti o compressori, mentre nei sistemi passivi si sfrutta, invece, il gradiente di pressione che s’instaura naturalmente all’interno della discarica, a seguito dei processi di generazione di biogas. La tipologia dell’impianto di captazione da adottare, dipende principalmente dalle caratteristiche della discarica e dall’utilizzo che viene fatto del biogas raccolto.

Per la sicurezza dell’impianto, intorno al perimetro esterno ed al di sotto del fondo della discarica, vengono installati vari sensori capaci di monitorare l’effettivo funzionamento del sistema di captazione e l’efficienza dei sistemi di contenimento per il biogas ed il percolato.

Le tecniche di controllo e trattamento applicabili ad una discarica consistono nella combustione o nella purificazione del biogas.

La distruzione dei composti organici attraverso la **combustione** può avvenire senza recupero di energia attraverso l’impiego di torce, oppure con produzione di energia elettrica, utilizzando allo scopo turbine a gas o motori a combustione interna.

Le tecniche di **purificazione** hanno, invece, lo scopo di produrre gas naturale con caratteristiche tali da poter essere immesso direttamente in una rete di distribuzione. A tal fine, si utilizzano sistemi molto sofisticati ad assorbimento, ad adsorbimento ed a membrane speciali, con i quali vengono rimossi il vapore acqueo, il diossido di carbonio (CO_2) ed i composti organici non metanici (NMOCs) presenti nel biogas captato.

La captazione e l’utilizzo del biogas per recuperare energia dai rifiuti smaltiti in discarica, svolgono anche un importante compito nei confronti della riduzione delle emissioni di gas serra. Si può, infatti, valutare il vantaggio ambientale ottenibile considerando la maggior quantità di gas serra che sarebbe immessa nell’atmosfera se la stessa energia prodotta col biogas fosse prodotta con combustibili fossili. Queste quantità possono essere definite come emissioni evitate di CO_2 equivalenti, assimilando, in questo modo, tutti i diversi composti che costituiscono i gas serra alla CO_2.

12.8.1.12.2 Sistema di captazione, estrazione e smaltimento del biogas

Il biogas, generato dalle varie fasi di degradazione anaerobica dei rifiuti deve essere smaltito per garantire la sicurezza e per ridurre al minimo le emissioni moleste nonché i fattori nocivi per l’ambiente e per la salute dell’uomo.

Questi fattori sono:

- gli odori causati da componenti quali: l’idrogeno solforato, i mercaptani, l’ammoniaca, che

costituiscono i principali motivi di rapporto conflittuale con le popolazioni interessate;
- i danni causati alla salute dell'uomo, per la possibile presenza di sostanze tossiche (toluolo, benzolo, cloruro di vinile, tricloroetilene, etc);
- i danni alla vegetazione, per l'instaurarsi di condizioni anossiche causate dall'allontanamento dell'O_2 dalle radici;
- i rischi di esplosione, in quanto il metano in miscela con l'aria costituisce una miscela deflagrante;
- l'effetto serra dovuto alla crescente concentrazione di CO_2 nell'atmosfera.

L'impianto di captazione del biogas è costituito da:
- un sistema di captazione vero e proprio;
- un impianto di smaltimento ed utilizzazione.

12.8.1.12.3 Sistema di captazione

Il sistema di captazione vero e proprio è costituito da drenaggi verticali in cui si sfrutta l'interposizione di strati di inerti allo scopo di favorire le migrazioni orizzontali di biogas.
Ogni 2.50 m di rifiuti compattati viene posto uno strato di materiale drenante (prevalentemente sabbie). Ultimata la compattazione dei rifiuti vengono scavati dei pozzi verticali mediante una trivella a percussione del diametro di 50 cm. Questi drenaggi vengono realizzati perforando la massa dei rifiuti depositati in discarica. Ogni pozzo verticale, avente un diametro > 300 mm è caratterizzato da un suo raggio di influenza, il cui valore dipende dalla densità dei rifiuti, dal livello idrico, dal tipo di copertura e dall'altezza di captazione (e comunque non superiore a 20 m). All'interno dei pozzi vengono inseriti dei tubi di polietilene ad alta densità (HPDE), forati, il cui diametro è di 20 cm (vedi figura 24).

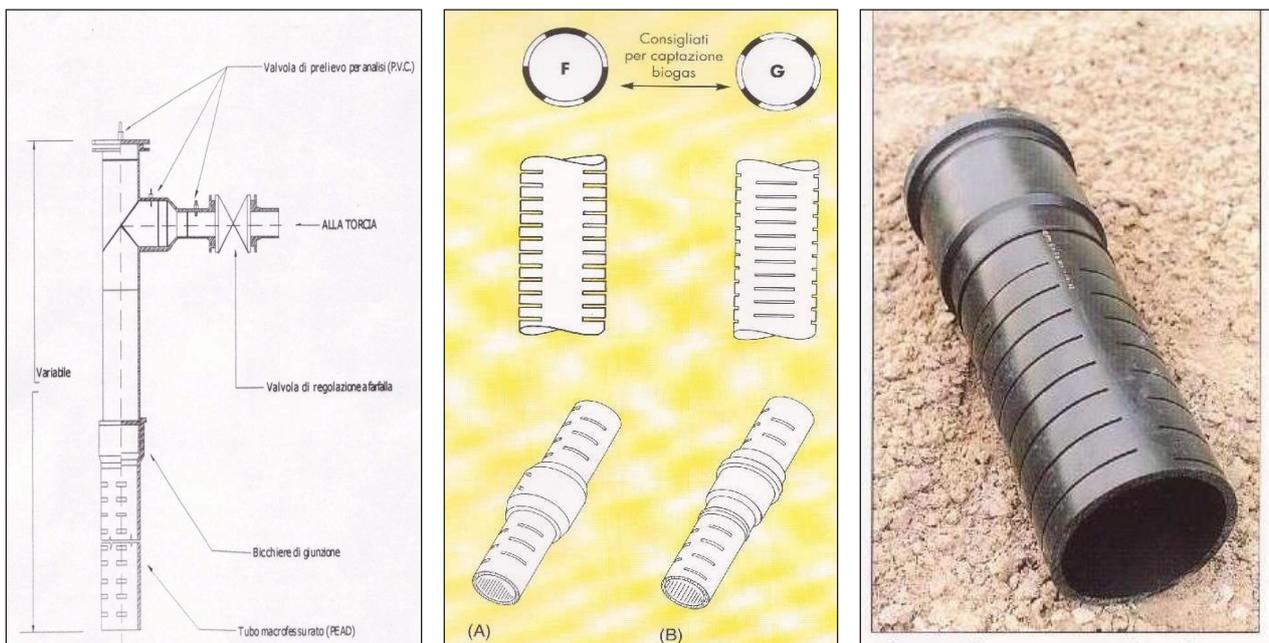



Fig.24: Tubo biogas e relativo schema e schema unità di captazione biogas

12.8.1.12.4 Sistema di smaltimento del biogas

La Ditta ha per molto tempo utilizzato per lo smaltimento del biogas un apposito impianto di combustione mediante torce, che assolve le seguenti funzioni:

- miscelazione aria-gas
- convogliamento della miscela aria-gas
- innesco della combustione
- stabilità della fiamma
- minimizzazione delle emissioni.

Il collegamento tra l'impianto di captazione e quello di smaltimento per combustione è rappresentato dalla testa del pozzo che funge da anello di congiunzione con la torcia, come mostrato nella figura sottostante.

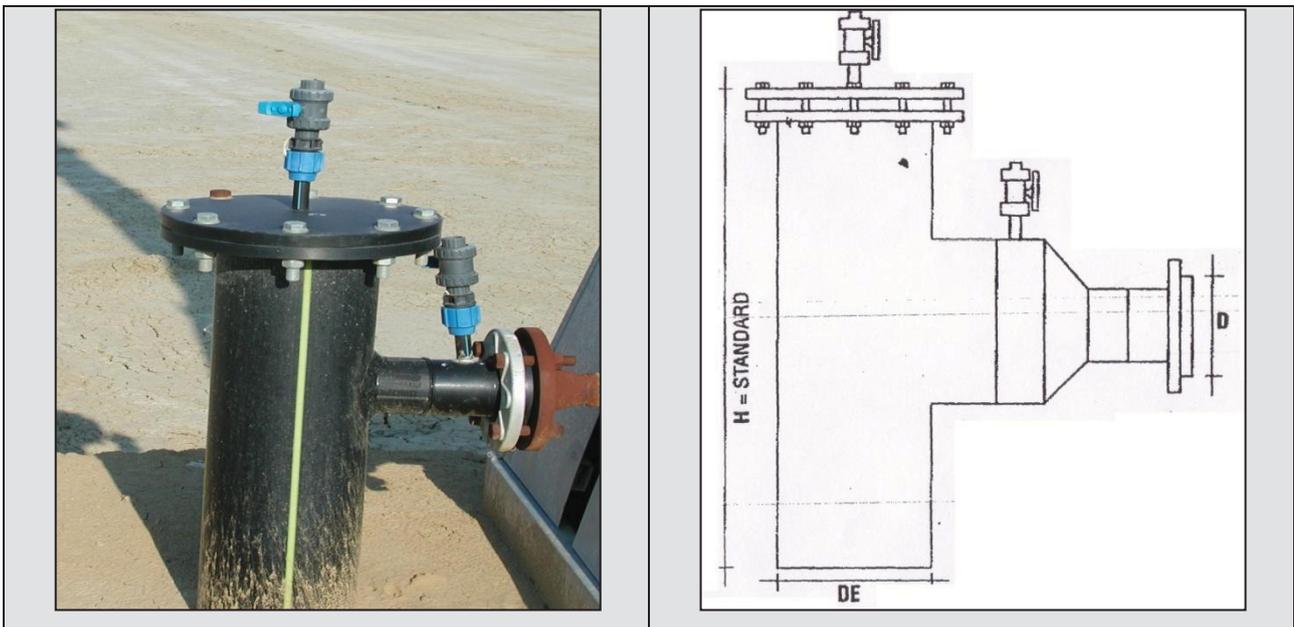



Fig.25: Testa di pozzo e relativo schema

12.8.1.12.5 Impianto di recupero del biogas

Il biogas derivante dai processi di biodegradazione della componente organica dei rifiuti collocati in discarica, generalmente noto solo come esalazione molesta, può al contrario diventare una risorsa energetica se opportunamente captato ed inviato ad un impianto di riutilizzo.

E' per questo motivo che le torce di combustione ad alta efficienza utilizzate sino ad un paio di anni fa sono state sostituite con un impianto di recupero basato su motori a gas che consente di dare valore alla combustione del biogas producendo energia elettrica. L'impianto soddisfa le prescrizioni di legge in termini di necessità di smaltimento del biogas e, come tale, soddisfa le prescrizioni sulla minimizzazione delle emissioni in atmosfera.

Va fatto osservare, però, che il sistema di torce non è stato rimosso in quanto questo viene utilizzato come impianto di emergenza.

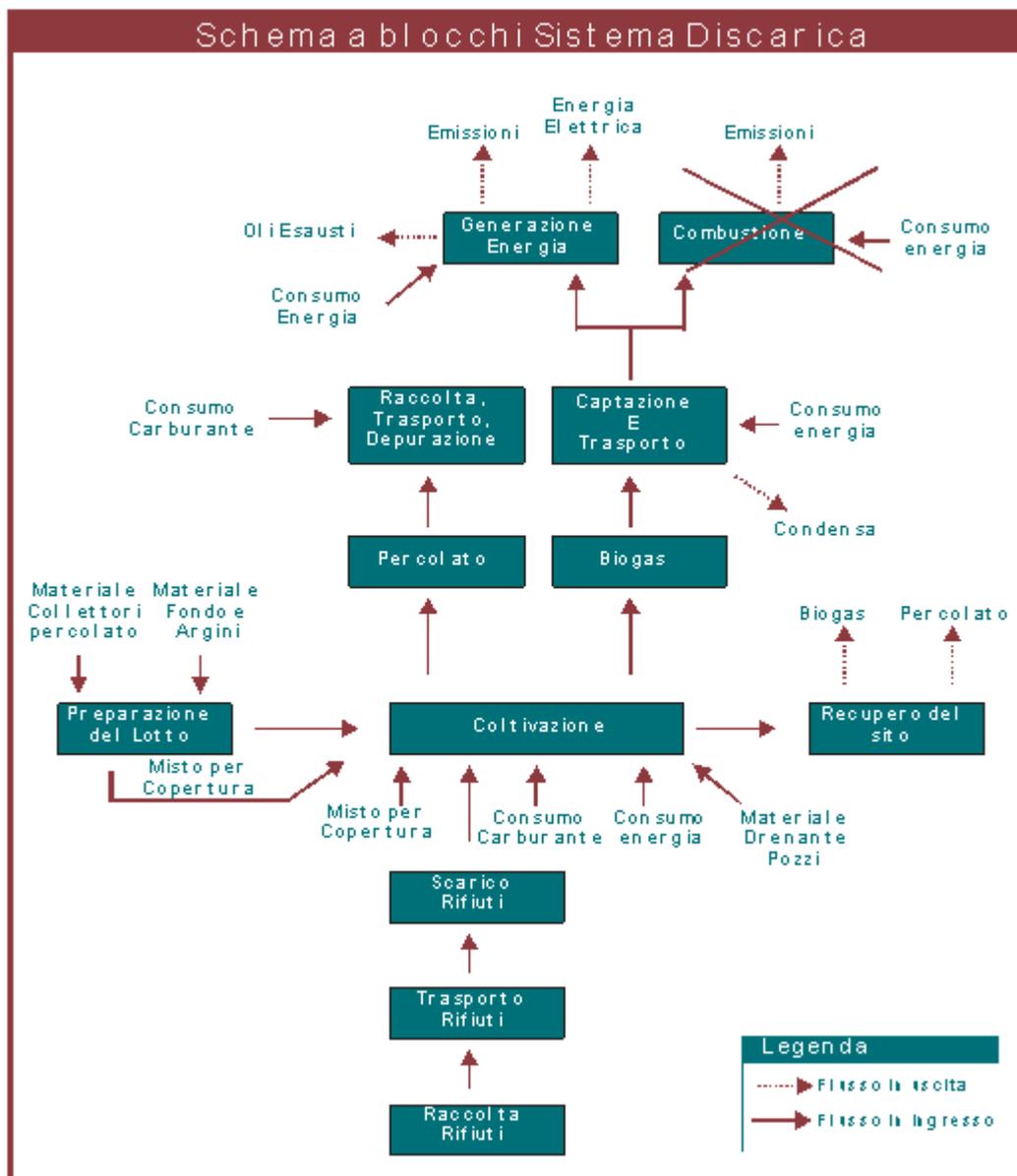



Fig.26: Funzionamento impianto discarica

12.8.1.12.6 Criterio di scelta e dimensionamento dell'impianto di produzione di energia elettrica

Le soluzioni tecnologiche attualmente disponibili per la produzione di energia elettrica utilizzando biogas prodotto da rifiuti sono le seguenti:

- motori a ciclo otto;
- motori a dual-fuel;
- turbine a gas.

La scelta del sistema di produzione di energia elettrica operata dalla Ditta che prevede l'utilizzo di motori a ciclo otto discende dalle seguenti considerazioni:

- massimizzazione della resa in energia elettrica;
- massima esperienza tecnologica e, quindi, massima affidabilità del sistema;
- facilità d'intervento per la riparazione di eventuali inconvenienti meccanici (nel caso delle turbine si rendono indispensabili competenze molto specialistiche);

- elevata flessibilità del sistema che permette di superare inevitabili oscillazioni nella qualità del gas di alimentazione;
- tecnologia appropriata per la taglia d'impianto in esame (i sistemi a turbine risultano più idonei per potenze maggiori anche per la necessità di sistemi preventivi di compressione e trattamento del gas).

L'impianto ha una potenza complessiva, dimensionata sulla base delle previsioni di producibilità dell'energia elettrica effettuate in fase di istallazione dell'impianto, pari a **3000 kWe**, fornita da tre gruppi elettrogeni di cui due della potenza elettrica, in condizioni ISO, di **836 kWe** ed un terzo di **625 kWe.**

La potenza elettrica annua è mediamente pari a 400 kWe, che, considerando un 8 h/g di utilizzo, corrispondono ad una produzione di energia elettrica pari a 1000 – 1100 MWh/a. Tale energia viene in parte utilizzata per le esigenze energetiche dell'azienda e in parte rivenduta sul mercato nazionale dell'energia elettrica.

Qualora venisse prodotto e captato biogas in eccesso rispetto a quello necessario ad alimentare tali gruppi, esso verrà distrutto in una apposita torcia ad alta efficienza.

Fig.26: Impianto di cogenerazione

12.8.1.12.7 Descrizione dell'impianto

Una fitta rete di tubazioni, posate orizzontalmente a strati sopra i rifiuti, in polietilene ad alta densità (PEAD) fessurate, capta il biogas prodotto e lo convoglia verso i collettori.

Il biogas aspirato e compresso è inviato all'impianto di produzione di energia elettrica, distinto nella sezione di trattamento biogas, per l'eliminazione dell'umidità e di alcune sostanze a forte contenuto inquinante, e dalla parte motori/alternatori.

Schematicamente l'impianto consiste in:

- ✓ sistema di captazione del biogas dalla discarica, completo di torcia per la termodistruzione tanto degli esuberi di biogas, quanto dell'intero quantitativo di gas captato in caso di fermata dei gruppi elettrogeni;
- ✓ deumidificatore con separatore di condensa;
- ✓ gruppi elettrogeni.

Il biogas prodotto dal corpo rifiuti viene prelevato da *78 pozzi* che lo conferiscono, grazie a linee di tubazioni indipendenti, a 7 *Stazioni di Regolazione*; alle stazioni di regolazione sono affidati i compiti di accentramento dei controlli qualitativi del biogas estratto.
Dalle stazioni di regolazione il gas viene convogliato alla *Stazione di Aspirazione* attraverso 7 *linee principali* indipendenti in HDPE; in testa a tali linee principali di trasporto del biogas è posizionato un *Collettore* dotato di sistemi automatici di regolazione della depressione sulla rete. Ogni linea viene dotata dei necessari *Separatori Ciclonici di Condensa*; l'intero quantitativo di condensato raccolto dagli appositi separatori installati sia sull'impianto di captazione ed aspirazione, sia su quello di combustione e recupero energetico viene inviato alle vasche di accumulo del percolato e da queste agli impianti esterni di smaltimento. Il sistema di aspirazione è realizzato attraverso una depressione applicata in rete da tre *Turbo-aspiratori* in grado di lavorare singolarmente o contemporaneamente a valle dei quali è montata una linea con lunghezza tale da consentire l'inserimento di un misuratore della portata totale e della diramazione per il convogliamento ai motori. Il biogas viene inviato ai *Motori* ed alla *Torcia*, anch'essi capaci di funzionare separatamente o contemporaneamente; la torcia è del tipo ad alta efficienza che garantisce condizioni di combustione ottimali per il rispetto dei parametri ambientali. In caso di fermo motori tutto il biogas pervenuto alla stazione di aspirazione verrà alimentato alla torcia; tale operazione può essere attivata sia in modo automatico, sia manualmente. L'impianto di produzione di energia elettrica è costituito da tre motori a combustione interna, accoppiati ad altrettanti generatori elettrici; i motori saranno dotati di catalizzatore ossidante al fine di garantire il rispetto dei limiti fissati dalla normativa attualmente in vigore.

Fig.26: Dislocazione pozzi

12.8.1.12.8 Strumenti di misurazione, regolazione e controllo

L'intero sistema è dotato di una serie di dispositivi di misurazione, regolazione e di controllo come di seguito descritti:

- sulle linee in ingresso al collettore è posta una presa di campionamento per il biogas, un by-pass – dotato di chiave di arresto manuale e una valvola pneumatica ON-OFF comandata dal sistema di controllo;
- sulla linea di aspirazione in ingresso al ventilatore è montata una valvola di sicurezza ON-

OFF, con chiusura rapida servo-assistita pneumaticamente, che interviene in tutti quei casi di allarme previsti dalla logica di comando;

- sulla linea di alimentazione dei motori verrà inserito un misuratore di portata - le sonde di misura della pressione poste sulle flange saranno collegate con altrettanti trasmitter elettronici (in esecuzione altideflagrante) per convertire il segnale di pressione in segnale elettrico, a sua volta connesso con il sistema di rilevazione dati;
- prima della torcia è prevista l'installazione di un sistema di regolazione pneumatica della pressione di mandata all'impianto di recupero energetico, che mantiene costante la pressione di mandata ai motori anche in presenza di oscillazioni di carico e/o di portata indirizzando lo sfioro alla torcia, e quindi un filtro rompifiamma;
- l'accensione della torcia viene affettuata da un accenditore ad elettrodo, mentre il controllo della presenza di fiamma è garantito da una termocoppia o da una fotocellula UV. E' installata, inoltre, una termocoppia per la misura della temperatura di combustione.

Lo stato generale dell'impianto è visualizzato e registrato su un PC dove, in particolare, è possibile controllare:

- analisi CH_4 e O_2;
- temperature biogas (a valle del turboaspiratore);
- pressione del biogas in mandata al motore;
- portata istantanea totale;
- portata istantanea ai motori;
- totalizzatore di portata;
- set point di allarme per O_2 e temperatura;
- malfunzionamenti.

12.8.1.12.9 Qualità e quantità delle emissioni e sistemi di interfaccia con l'ambiente

Le emissioni dell'impianto sono costituite dai gas di scarico dei motori e da quelli della torcia; esse sono proprie di un motore a combustione interna alimentato a gas naturale con 50-60% di CH4 e 40-50% di CO2. Ai fini dell'inquinamento atmosferico si ritengono trascurabili le quantità di composti dello zolfo e del cloro. Nello specifico si riportano le caratteristiche di tali emissioni:

Temperatura gas di scarico	C°	510
Portata gas di scarico (umido):		
- gruppo da 836 kWe	kg/h	4.542x2= 9.084
- gruppo da 625 kWe	kg/h	3.406

Concentrazione dei composti inquinanti nelle emissioni:

Ossidi di azoto (NO_x)	mg/Nm^3	≤ 450
Monossido di Carbonio (CO)	mg/Nm^3	≤ 500
HCl	mg/Nm^3	≤ 10
HF	mg/Nm^3	≤ 2
Polveri	mg/Nm^3	≤ 10
COT	mg/Nm^3	≤ 150

I valori delle concentrazioni in emissione si riferiscono ad un contenuto di ossigeno libero del 5% dei fumi e rispettano i valori limite fissati dalla normativa vigente. La formazione degli ossidi di azoto è ridotta al minimo realizzando una miscela di combustione magra con regolazione automatica del rapporto gas/aria, asservita ad indicatori della potenza elettrica erogata e della temperatura della miscela.
La produzione di monossido di carbonio si contiene con il basso numero di giri del motore che consente un elevato tempo di reazione in camera di scoppio nonché, con il raffreddamento del collettore di scarico. Ciò consente anche una riduzione del COT al di sotto dei limiti di legge.
Il rispetto dei limiti per l'HCl e l'HF è garantito dalla bassa concentrazione nel biogas di alimentazione ed, inoltre, dall'uso del refrigeratore che, portando la temperatura da circa 45 °C a 5 °C, consente di ridurre ulteriormente il contenuto di vapore acqueo con conseguente condensazione di acidi quali proprio HCl, HF e polveri. L'olio esausto prelevato dal sistema di lubrificazione del motore verrà conferito interamente al Consorzio Obbligatorio degli oli usati.
Per quanto attiene la rumorosità dell'impianto, è garantito il rispetto dei limiti previsti dalla vigente normativa in materia, in quanto la sala motore dell'impianto è dotata di cofanatura insonorizzata che è dimensionata per un livello sonoro residuo fuori dalla cofanatura, con motore in marcia, di 65 dB (A) a 10 m. L'ubicazione della centrale all'interno della discarica è tale da garantire all'esterno del perimetro della discarica i livelli di rumore non eccedenti i valori limite imposti.

12.8.1.12.10 Disturbi e rischi

La normativa vigente in materia di discariche impone che il gestore degli impianti di discarica per rifiuti non pericolosi e pericolosi deve adottare misure idonee a ridurre al minimo i disturbi ed i rischi provenienti dalla discarica e causati da:

- emissioni di odori, essenzialmente dovuti al gas di discarica;
- produzione di polvere;
- materiali trasportati dal vento;
- rumore e traffico;
- uccelli, parassiti ed insetti;
- formazione di aerosol;
- incendi.

A tale scopo, l'Azienda che gestisce l'impianto ha dotato lo stesso di efficace sistema di controlli ambientali ai fini di un continuo aggiornamento sullo stato e sulla dinamica evolutiva dell'ambiente, in quanto strumento indispensabile per la corretta pianificazione degli interventi di prevenzione e per la verifica dell'efficacia degli interventi di risanamento.
Nell'area strettamente interessata dal corpo discarica, al fine di limitare al massimo il rilascio di polveri e fibre, la Ditta adotta tutta una serie di accorgimenti, tra i quali quello di **ricoprire giornalmente il rifiuto** conferito in maniera da impedire l'esposizione agli agenti atmosferici ed all'azione meccanica dei mezzi addetti alla movimentazione dei rifiuti nella discarica.
La ricopertura minima del rifiuto non è comunque inferiore ai 20 cm per ottenere una sistemazione statica definitiva, impiegando a tale scopo del materiale inerte di granulometria minuta;
La copertura giornaliera ha lo scopo di:

- non alterare l'impatto estetico ambientale del luogo;
- eliminare il problema della diffusione in atmosfera dei rifiuti a causa dell'azione eolica;
- ridurre le emissioni degli odori;

- limitare il contatto del rifiuto con animali e insetti.

Come soluzioni aggiuntive all'utilizzo di sistemi di copertura mobile ad assorbimento degli odori, la Ditta prevede di irrorare eventualmente la superficie degli ammassi con enzimi particolari, che hanno il compito di catturare e metabolizzare le esalazioni.

Per quanto riguarda l'area adibita ad uffici, allo scopo di ridurre la presenza di materiali polverulenti, risultano sufficienti le operazioni giornaliere di lavaggio dell'area interessata al passaggio degli automezzi unitamente a sistemi di lavaggio delle ruote, criteri, per altro, adottati da tempo dalla Ditta.

Ai fini del controllo dei **roditori**, degli **insetti** e degli altri **animali**, il sistema di ricopertura sopra descritto rappresenta un efficace metodo di prevenzione; qualora esso risultasse insufficiente, si procederà ad operazioni di disinfestazione e derattizzazione.

Gli aspetti legati alla mobilità e al traffico e di conseguenza all'**impatto acustico** da essi generato possono ritenersi trascurabili.

Va evidenziato, infatti, che l'area interessata dalla discarica non ricade nelle immediate vicinanze di centri abitati; tanto più che, essendo ubicata in prossimità dello svincolo di Motta Sant'Anastasia - Strada Statale 121 Catania-Paternò, ricade in una zona che manifesta già negli orari che interessano il passaggio degli automezzi adibiti al carico/scarico dei rifiuti, una notevole congestione del traffico. Per quanto riguarda la componente rumore pur ritenendo non significativo l'incremento generato dalle attività descritte, si rende necessario, in fase di esercizio, monitorare costantemente i livelli di rumore intorno all'insediamento.

Il **rischio d'incendio** rappresenta uno degli incidenti più gravi per un ambiente di lavoro; non a caso la legislazione in materia si presenta particolarmente rigorosa.

Le ditte che operano nel settore della raccolta e dello stoccaggio dei rifiuti solidi urbani sono a rischio incendio, oltre che per le attività legate al lavoro d'ufficio, anche per la tipologia dei mezzi e delle strutture utilizzate quali:

- il serbatoio, contenente il gasolio per rifornire i mezzi;
- l'impianto elettrico (dell'azienda, dei capannoni e dei servizi igienici);
- le autorimesse con i mezzi usati per il trasporto e lo stoccaggio dei rifiuti;
- l'officina e i magazzini dei materiali infiammabili.

CAPITOLO 13 – Analisi ambientale preliminare nell'ambito della gestione dei rifiuti

13.1 Presentazione del lavoro

Lo studio del ciclo di vita di un sistema non può prescindere dal valutare quali siano le ricadute ambientali della gestione dei materiali che giungono a fine vita e che devono essere trattati come rifiuti. La ragione risiede nel fatto che, se da un lato i rifiuti costituiscono uno dei problemi centrali del sistema produttivo, dall'altro l'approccio LCA rappresenta un supporto per definire, già in fase di progettazione, le scelte migliori per l'effettiva riduzione degli impatti ambientali.
In questo contesto si inserisce il presente lavoro di simulazione; questo nasce infatti allo scopo di confrontare i tre possibili scenari di fine vita per 1 kg PET (riciclo, discarica o incenerimento) individuando quello meno impattante. Ai fini dello sviluppo dello studio, si è utilizzato un software di valutazione ambientale dedicato, il SimaPro 7, attingendo interamente alla banca dati europea in esso contenuta. Il lavoro è stato condotto scegliendo come unità funzionale 1 kg di PET da rifiuto e, in conformità agli standard europei UNI EN ISO 14040-14044 (2006). Le analisi sono state effettuate utilizzando, tra i metodi di calcolo oggi più diffusi e sopra presentati, il metodo Impact 2002+ in quanto, oltre ad avere un'impostazione più comprensibile per gli addetti ai lavori e facilmente accessibile rispetto agli altri metodi, presenta i seguenti vantaggi:

- calcola il consumo di energia rinnovabile, che costituisce un aspetto fondamentale nell'ambito di studi simili;
- riconosce la CO2 come maggiore responsabile dell'effetto serra facendola rientrare nella caratterizzazione di Climate Change.

13.2 Valutazione degli impatti

Dalle analisi condotte, si osserva come quello meno impattante sia proprio il riciclo, con un valore del danno che si attesta a **-0.000474 pt**, negativo in quanto trattasi di un danno evitato. Infatti, i benefici ambientali associati al trattamento di riciclo derivano dal fatto che questo permette di ottenere il prodotto evitato, ossia quella materia rigenerata, detta materia prima seconda, da poter reimpiegare, ove possibile, in vari settori dell'Industria, evitando così tutti gli impatti sull'ambiente derivanti dalla produzione dell'equivalente vergine. E' chiaro che, come già anticipato sopra, i processi di lavorazione tipici di un trattamento di riciclo di rifiuti in PET sono tali che il riciclo stesso non sia esente da impatti sull'ambiente; impatti che, però, come si evince dal grafico di cui sotto, sono giustificati dal beneficio ambientale associato all'ottenimento della resina rigenerata.

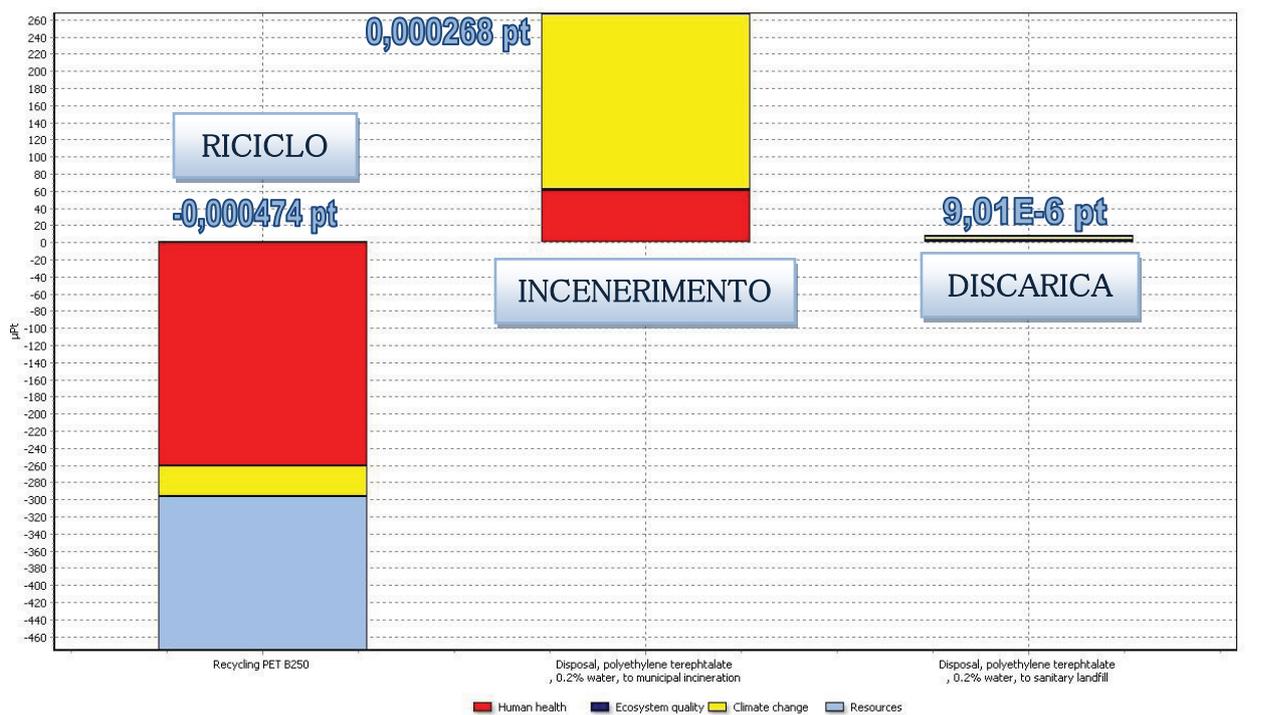



Fig. 13.1: Confronto tra i tre possibili scenari di fine vita (Valutazione single score per categorie di impatto – metodo: Impact 2022+)

Ogni kg di granulo di PET rigenerato permette infatti di evitare i consumi di fonti fossili nonché le emissioni di gas in atmosfera associate alla produzione dell'equivalente vergine ed in particolare:

- **13,2 grammi di ossidi di Azoto;**
- **11,2 grammi di ossidi di Zolfo;**
- **360 dm^3 di metano;**
- **657 grammi di petrolio;**
- **337 grammi di anidride carbonica.**

Nella tabella seguente a ciascuna delle categorie di danno prese in considerazione del metodo di calcolo utilizzato, l'Impact 2002+, sono associati i punteggi di quantificazione del danno per ciascuno dei tre scenari di fine vita.

Categorie di Danno	*Scenario di fine vita*		
	RICICLO	*DISCARICA*	*INCENERIMENTO*
	Pt		
Human Heath	**-0,000261**	**2,38E-6**	**6,08E-5**
Climate Change	**-3,6E-5**	**4,15E-6**	**0,000205**
Resources	**-0,000179**	**2,16E-6**	**1,55E-6**
Ecosystem Quality	**1,74E-6**	**3,18E-7**	**8,1E-7**
DANNO TOTALE	**-0,000474**	**9,01E-6**	**0,000268**

L'istogramma di cui alla figura seguente riporta il confronto tra i tre trattamenti di fine vita presi in considerazione relativamente a ciascuna categoria di danno.

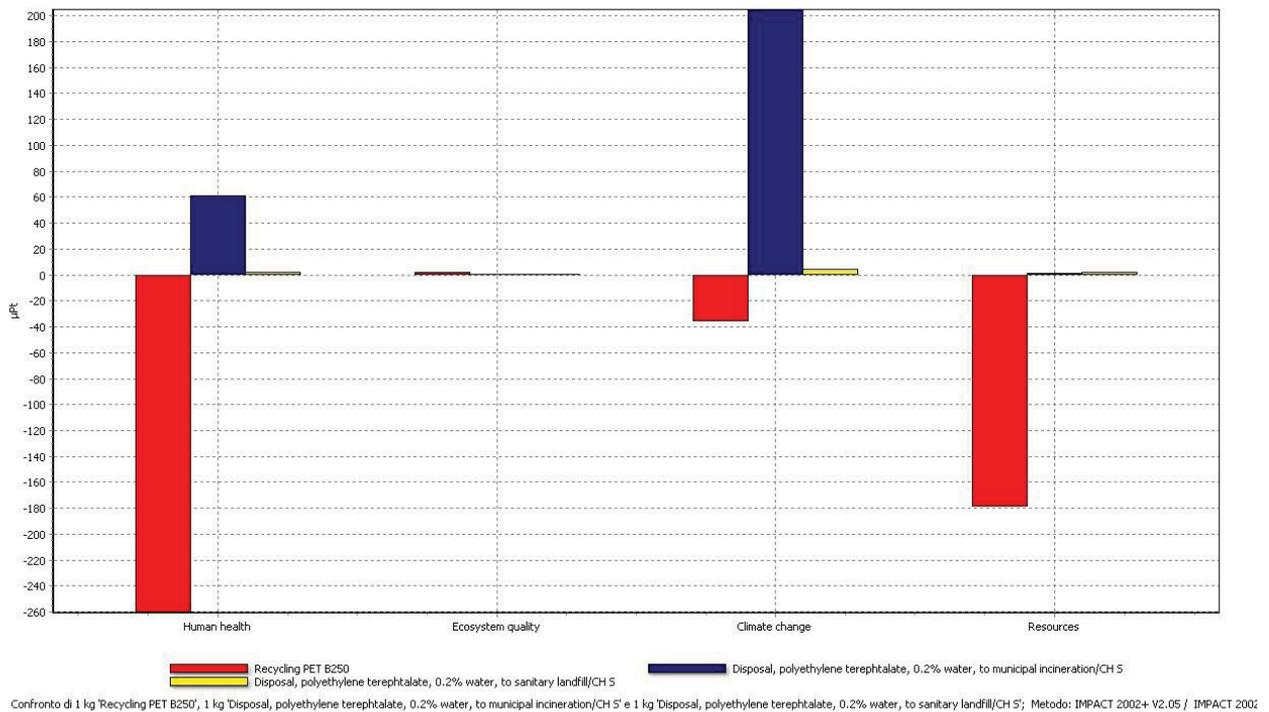



Figura 13.2: Confronto tra i tre possibili scenari di fine vita in termini di danno arrecato sulle categorie di danno (Pesatura per categorie di danno – metodo: Impact 2002+)

Entrando nel merito delle categorie di impatto, dal grafico seguente si osserva come quelle per le quali il riciclo garantisce i valori più alti di danno evitato, e quindi di maggiori benefici ambientali, sono: **Respiratory Inorganics** e **Non-Renewable Energy.**

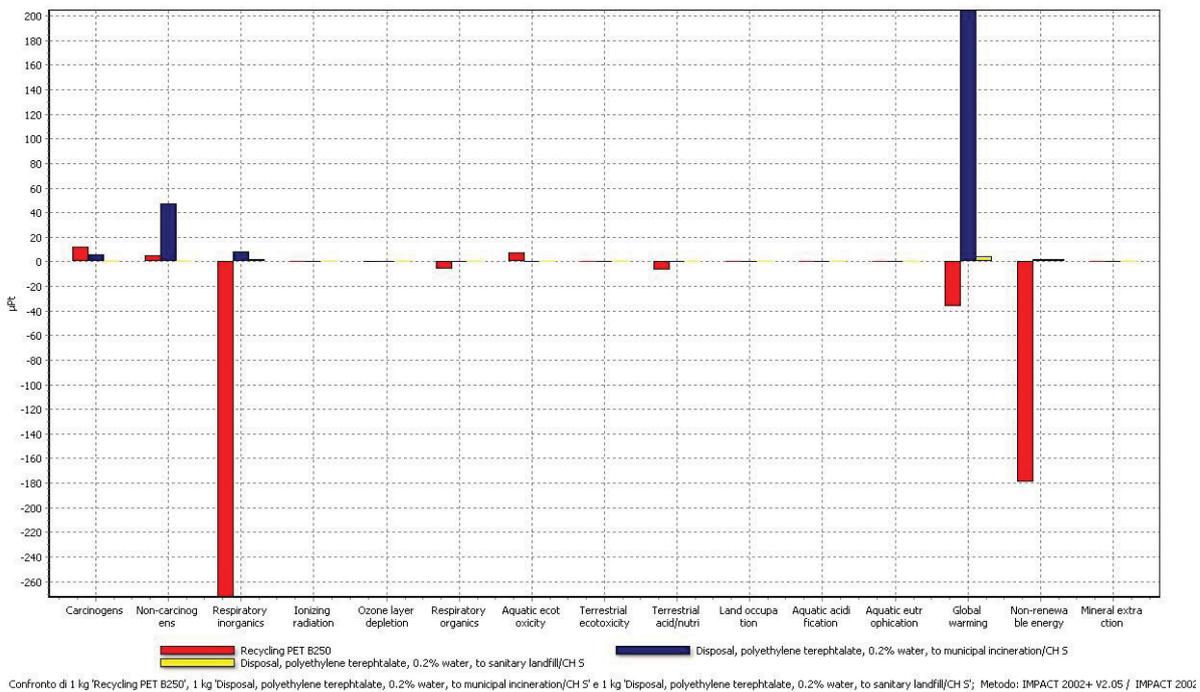



Fig. 13.3: Confronto tra i tre possibili scenari di fine vita in termini di danno dovuto alle sostanze di cui sopra attraverso le categorie di impatto (Pesatura per categorie di impatto – metodo: Impact 2022+)

Nella tabella seguente, a ciascuna delle due categorie di impatto di cui appena sopra sono stati associati i punteggi relativi ai danni evitati ed i relativi valori di caratterizzazione.

Categoria di Impatto	*Pesatura (pt)*	*Caratterizzazione*	*Indicatore equivalente*
Respiratory Inorganics	**-0,000173**	**-0,00276**	Kg $P.M_{2.5}$
Non-renewable Energy	**-0,000179**	**-27,2**	MJ primary

13.3 Conclusioni

Il presente lavoro, se pur apparentemente banale e dal risultato scontato, dimostra ancora una volta quanto sia importante che la gestione dei rifiuti incentivi la soluzione del riciclo e pertanto sia organizzata e condotta con l'obiettivo di prediligere la raccolta differenziata (RD) a livello domestico. In caso contrario i rifiuti non potrebbero essere correttamente recuperati e trasformati in nuova materia da impiegare nei settori più svariati dell'Industria.
La simulazione condotta permette altresì di dimostrare che, pur rappresentando l'ultimo scenario di trattamento, in quanto sono destinate ad accogliere soltanto la frazione di rifiuti che non può essere recuperata ne in forma di materia ne di energia, la realizzazione e la gestione delle discariche in maniera controllata e sostenibile riduce sensibilmente il danno che il loro ciclo di vita arreca all'ambiente. In questo modo l'attività di smaltimento dei rifiuti in discarica, nelle sue diverse fasi di conferimento, raccolta, cernita, trasporto, trattamento e deposito permette:

- di evitare ogni danno o pericolo per la salute, l'incolumità e la sicurezza collettive;
- di garantire il rispetto delle esigenze igenico-sanitarie ed evitare ogni rischio di inquinamento dell'aria, dell'acqua, del suolo e sotto-suolo, nonché ogni inconveniente derivante da rumori ed odori molesti;
- di salvaguardare la fauna e la flora evitando qualsiasi degrado ambientale e paesaggistico;
- di rispettare le esigenze di pianificazione economica e territoriale;
- di promuovere sistemi tendenti a riciclare e riutilizzare i rifiuti recuperando da essi materia e/o energia;
- di favorire sistemi orientati alla limitazione della produzione dei rifiuti stessi.

L'analisi del ciclo di vita rappresenta lo strumento ideale non soltanto per individuare ed analizzare i principali impatti ambientali associati al ciclo di vita di una discarica ma anche per valutare i possibili miglioramenti atti a minimizzare il danno totale. *In questo contesto si inserisce il presente lavoro di tesi.*

CAPITOLO 14 – Analisi del ciclo di vita applicata alla discarica in esame

14.1 Campo di applicazione dello studio

14.1.1 Obiettivo dello studio

Obiettivo dello studio è la determinazione del danno ambientale dovuto alla raccolta e al conferimento di rifiuti indifferenziati nella discarica di Motta Sant'Anastasia.

14.1.2 Unità funzionale

Ogni studio di LCA, come visto nella parte dedicata a tale metodologia, presuppone la scelta di una unità funzionale, ossia una entità alla quale riferire tutti i dati in ingresso ed in uscita relativi al ciclo di vita di un dato bene o servizio. Nel caso in esame, l'unità funzionale è rappresentata da una tonnellata di rifiuti solidi urbani ed assimilabili.

14.1.3 Confini del sistema

Una volta descritto in dettaglio il sistema in esame e creato un diagramma di flusso contenente i processi associati alla vita della discarica, al fine di programmare ed ottimizzare la raccolta dati, si è proceduto alla definizione dei confini del sistema.
Questi includono:

1. la fase di raccolta indifferenziata dei rifiuti e successivo conferimento in discarica;
2. la realizzazione della discarica, la quale si completa nel momento in cui viene predisposto lo strato di copertura vegetale;
3. l'uso, anche detto di esercizio, della discarica che consiste fondamentalmente nella captazione di biogas e percolato, entrambi dovuti alla fermentazione del materiale organico contenuto nei rifiuti;
4. il fine vita che si ha quando, dopo circa 30 anni, non si ha più produzione di biogas e percolato.

Si fa osservare che la fase di esercizio della discarica, così come indicata al punto 3, caratterizzata da produzione di percolato e biogas, inizia sin dai primi conferimenti e continua sino a quando tale produzione tende ad annullarsi. Da questo momento in poi, inizia la fase di fine vita della discarica stessa.
La quantità di sostanza organica che rimane in discarica nel periodo successivo alla chiusura della discarica stessa può essere considerata trascurabile; tutto il carbonio si può assumere completamente trasferito all'aria sottoforma di CO_2 ed, inoltre, si può ipotizzare che, qualora venga prodotto del metano dopo la fase metanigena intensa, questo sia completamente ossidato a CO_2 grazie ai batteri aerobici negli strati superiori della discarica, dove c'è disponibilità di ossigeno.

14.2 Analisi di inventario

I dati necessari ai fini dello sviluppo dello studio sono stati direttamente reperiti sul campo in collaborazione col Gestore della discarica oggetto dello studio. La raccolta dati è avvenuta in un clima di continuo interscambio di informazioni ed è stata condotta effettuando tutte i necessari sopralluoghi all'impianto, in occasione dei quali sono state effettuate interviste al personale di competenza della discarica stessa. La fase di inventario rappresenta un po' il cuore della metodologia LCA: in funzione della precisione e del grado di dettaglio con cui viene effettuata la

raccolta dati dipende la qualità e l'attendibilità dei risultati finali. Per tale motivo, prima di procedere alla fase di elaborazione, ossia di valutazione dell'impatto, tutti i dati raccolti sono stati attentamente verificati e confrontati on dati di letteratura. La raccolta dati ha riguardato:

- gli automezzi per la raccolta dei rifiuti e il successivo trasporto in discarica;
- i materiali utilizzati e delle tecnologie adottate per la realizzazione della discarica, considerando, ad esempio, lo sbancamento del terreno nel sito in cui installare la stessa, lo strato di impermeabilizzazione del fondo, il terreno utilizzato per ricoprire i vari lotti di rifiuti, l'utilizzo degli automezzi per l'abbancamento degli stessi, e così via;
- gli impianti di captazione di biogas;
- il trattamento, attraverso impianto di depurazione, del percolato prodotto.

Dovendo mantenere assoluta riservatezza nel trattamento delle informazioni ottenute, facendo seguito a quanto gentilmente richiesto dal Gestore, nonché Proprietario, della discarica in esame, non è stato possibile riportare, nel presente documento, i dati raccolti.

14.3 L'analisi ambientale

14.3.1 Premessa

Effettuata la raccolta dati, si è proceduto effettuando la fase di valutazione del danno e, in seconda battuta, una volta valutati gli impatti ambientali, proponendo alcune soluzioni tecniche finalizzate alla riduzione del danno totale e al miglioramento della qualità ambientale della discarica. Questa fase ha come obiettivo fondamentale l'imputazione dei consumi e delle emissioni, ottenuti nella fase di analisi di inventario, a specifiche categorie di impatto riferibili ad effetti ambientali (o categorie di impatto) conosciuti. Inoltre, mira a quantificare, con opportuni metodi di caratterizzazione, l'entità del contributo complessivo che il processo e il prodotto ha nei confronti degli effetti considerati.

14.3.2 Il metodo

Nel caso in esame, la fase di valutazione del danno (LCIA) è stata condotta includendo sia gli elementi obbligatori, previsti dalle ISO 14040 e 14044, sia quelli opzionali necessari per esprimere i risultati con dei parametri numerici equivalenti atti a rappresentare quantitativamente in modo sintetico gli effetti ambientali del sistema considerato.

Gli elementi obbligatori sono:

la selezione degli effetti ambientali da considerare, oltre che degli indicatori ambientali che li rappresentano;

- l'assegnazione dei risultati della fase di inventario agli effetti ambientali scelti ("classificazione");
- il calcolo degli indicatori di categoria ("caratterizzazione").

Gli elementi opzionali sono rappresentati dalla fase di normalizzazione del danno, in cui si confrontano gli indicatori ambientali calcolati con valori di riferimento, e dalla fase di pesatura del danno che, tramite l'attribuzione di un punteggio (pt), consente di determinare e confrontare l'importanza dei singoli effetti ambientali.

Tutti i dati raccolti sono stati elaborati utilizzando il Simapro 7.0 nella sua versione più aggiornata. Per quanto riguarda la fase di valutazione del danno, tra i metodi oggi maggiormente diffusi, si è scelto l'Impact 2002+, per le ragioni di cui sopra al paragrafo 13.1.

14.3.3 Valutazione del danno

14.3.3.1 CICLO DI VITA DEI RIFIUTI

Nel presente paragrafo sono stati riportati e discussi i risultati in uscita dalla fase valutazione del danno e riguardanti il ciclo di vita di una tonnellata di rifiuti.

Il danno totale è pari a **0,0464 pt** ed è dovuto per il:

- 78,3% al trasporto dei rifiuti in discarica;
- 21,7% alla quota parte del ciclo di vita della discarica associato ad una tonnellata di rifiuti.

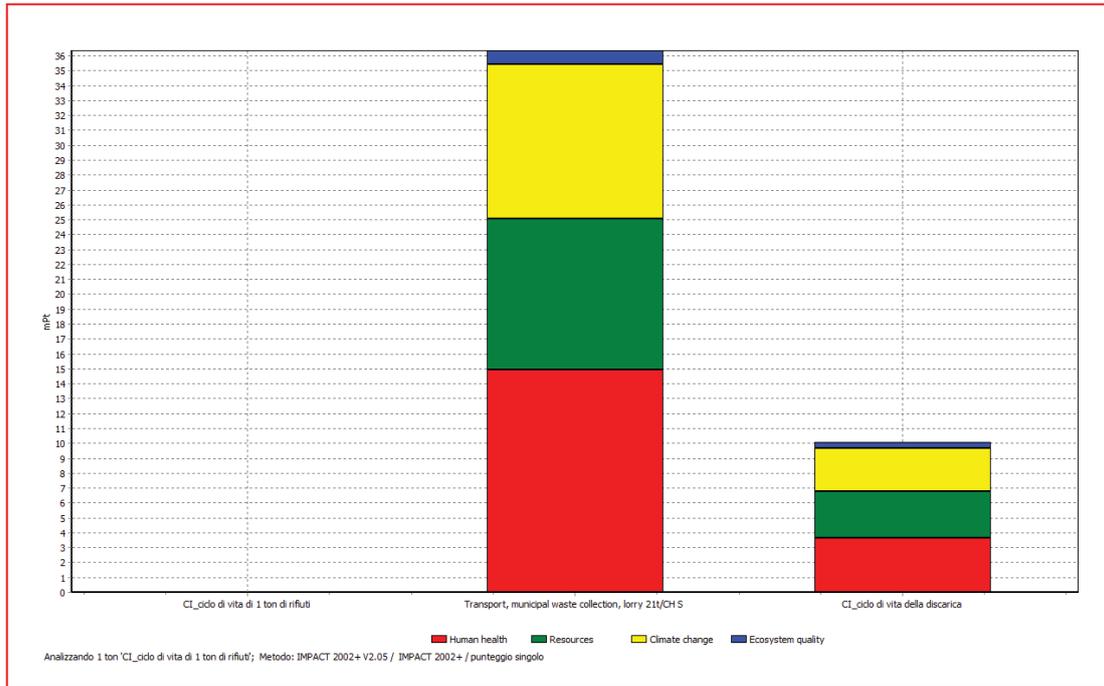



Fig. 14.1: Ciclo di vita di 1 ton di rifiuti - Valutazione single score per categorie di danno

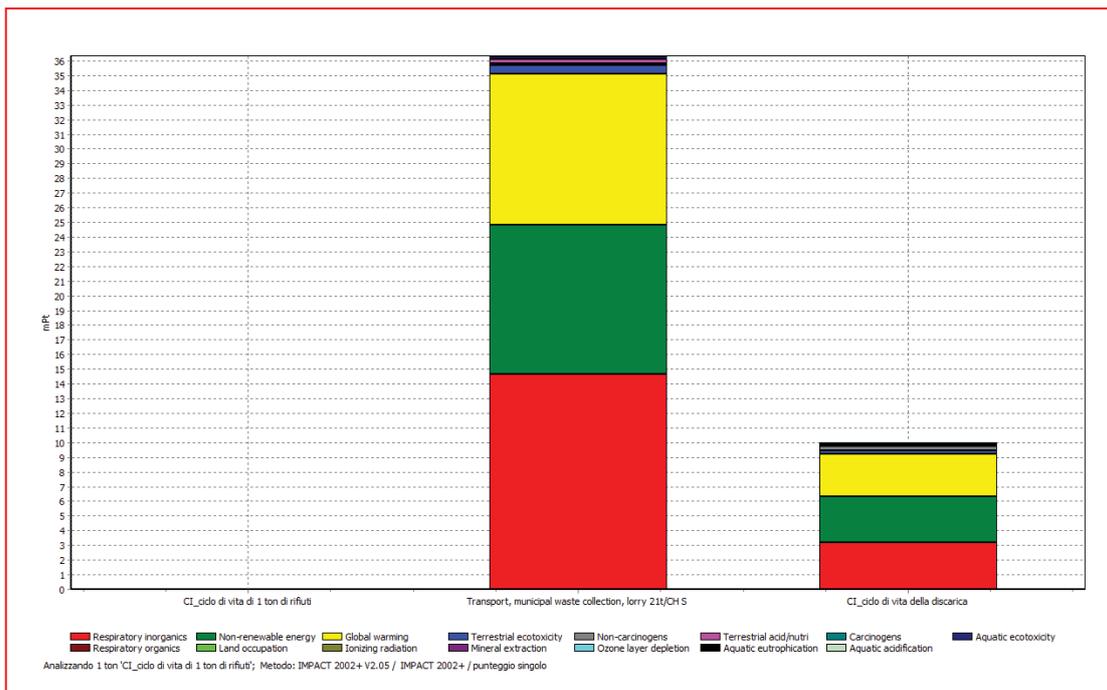



Fig. 14.2: Ciclo di vita di 1 ton di rifiuti - Valutazione single score per categorie di danno

In termini di “damage category”, il danno totale è così distribuito:

- 40% Human health;
- 28,6% Climate change;
- 28,48% Resources;
- 2,92% Ecosistem quality.

Nell’istogramma seguente a ciascuna delle categorie sopra-elencate sono state associate le fasi caratterizzanti il ciclo di vita dei rifiuti, nonché il valore in punti del danno da queste arrecato.

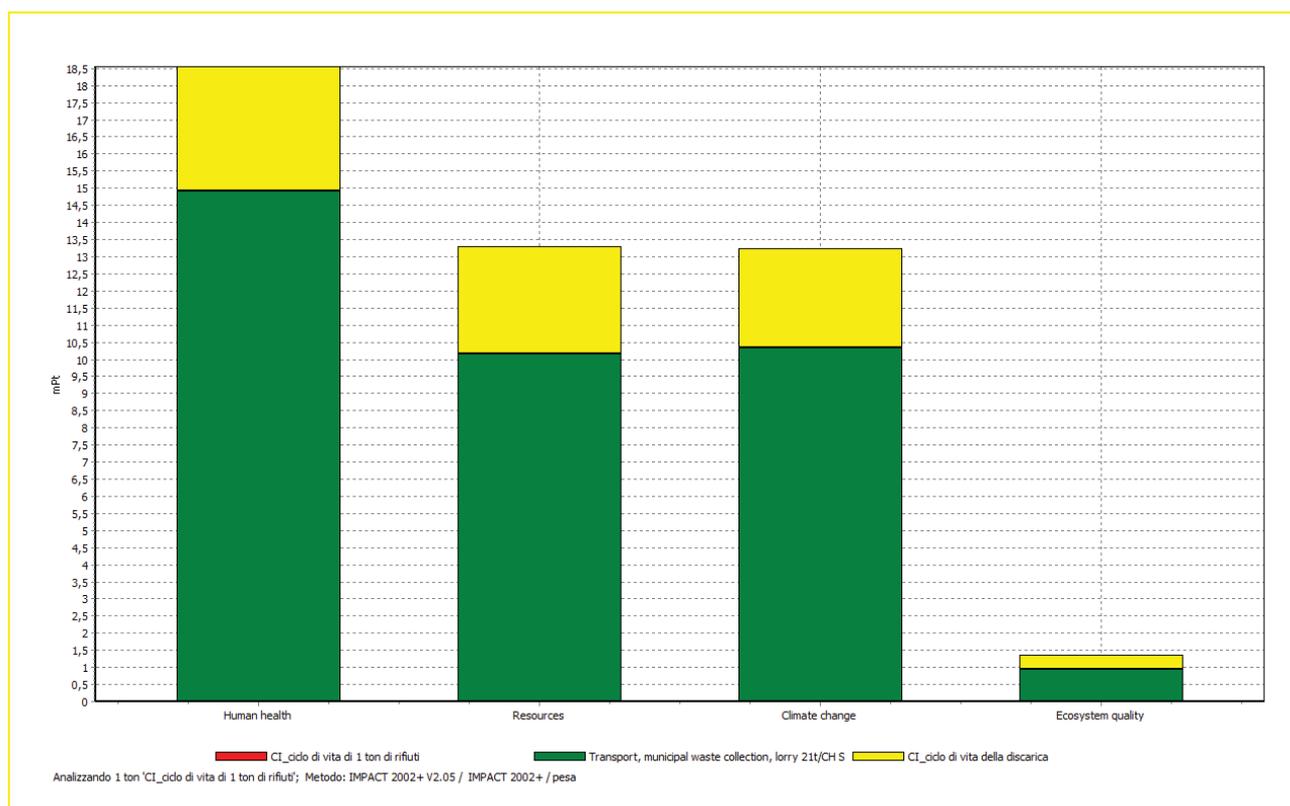



Fig. 14.3: Ciclo di vita di 1 ton di rifiuti – Pesatura per categorie di danno

All’istogramma di cui sopra, va associata la tabella seguente, nella quale, per ciascuna delle quattro macro-categorie, è stato esplicitato il danno a queste arrecato nella forma:

- del punteggio in uscita dalla fase di “weighing” (“pesatura”);
- del valore di “damages assessment” con relativa unità di misura.

Tabella 14.1: Valori di pesatura e valutazione dei danni per ciascuna delle quattro categorie di danno contemplate dal metodo Impact 2002+

Categoria di danno	*Weighing (pt)*	*Damages assessment value*	*Indicatore*
Human health	**0,0186**	**0,000132**	DALY
Climate change	**0,0133**	**131**	$Kg_{eq}CO_2$
Resources	**0,0132**	**2,02E3**	MJ primary
Ecosystem quality	**0,00135**	**18,6**	PDF*m^2*yr

Di seguito, si riportano le sostanze emesse e le risorse consumate che più impattano sulle categorie

di danno sopra individuate. A ciascuna sostanza o risorsa, è stata rispettivamente associata la quantità emessa o consumata, nonché la percentuale associata alle fasi caratterizzanti il ciclo di vita dei rifiuti; quest'ultimo dato dimostra ancora una volta che il trasporto in discarica rappresenta la fase più impattante.

Tabella 14.2: Sostanze e risorse più impattanti generate dai processi e sotto-processi caratterizzanti il ciclo di vita di una tonnellata di rifiuti

Sostanza	***Comparto di emissione***	***Quantità***	***Unità di misura***	***Percentuale di distribuzione (%)***	
				Trasporto in discarica	*Quota parte del ciclo di vita della discarica per 1 ton di rifiuti*
RESOURCES					
Oil, crude, in ground	---	**36,8**	kg	81,7	18,3
CLIMATE CHANGE					
Carbon dioxide, fossil	air	**121**	kg	82,7	17,3
HUMAN HEALTH					
Nitrogen oxides	air	**804**	g	83,8	16,2
Particulates, < 2,5 microns	air	**65,9**	g	82,7	17,3
ECOSYSTEM QUALITY					
Aluminum	soil	**794**	mg	85,3	14,7
Nitrogen oxides	air	**804**	g	83,8	16,2
Zinc	air	**305**	mg	92,9	7,1

A completezza dello studio condotto, si riporta di seguito il dettaglio delle categorie di impatto; quella maggiormente impattanti sono:

1. ***Respiratory inorganics;***
2. ***Non renewable Energy;***
3. ***Global warming.***

Le suddette categorie sono state elencate di seguito in tabella associando a ciascuna di essa il valore di pesatura, espresso in punti, nonché quello di caratterizzazione col relativo indicatore.

Tabella 14.3: Valori di pesatura e caratterizzazione con relativo indicatore per ciascuna delle categorie di impatto maggiormente impattanti (risultati secondo Impact 2002+)

Categoria di impatto	*Weighing (pt)*	*Characterization value*	*Indicatore*
1	**0,0178**	**0,18**	$Kg_{eq}P.M._{2.5,}$
2	**0,0133**	**2,02E3**	MJ primary
3	**0,0132**	**131**	$Kg_{eq}CO_2$

Nell'istogramma seguente sono state invece riportate tutte le categorie di impatto contemplate dal metodo Impact 2002+; in evidenza quelle di cui sopra in tabella.

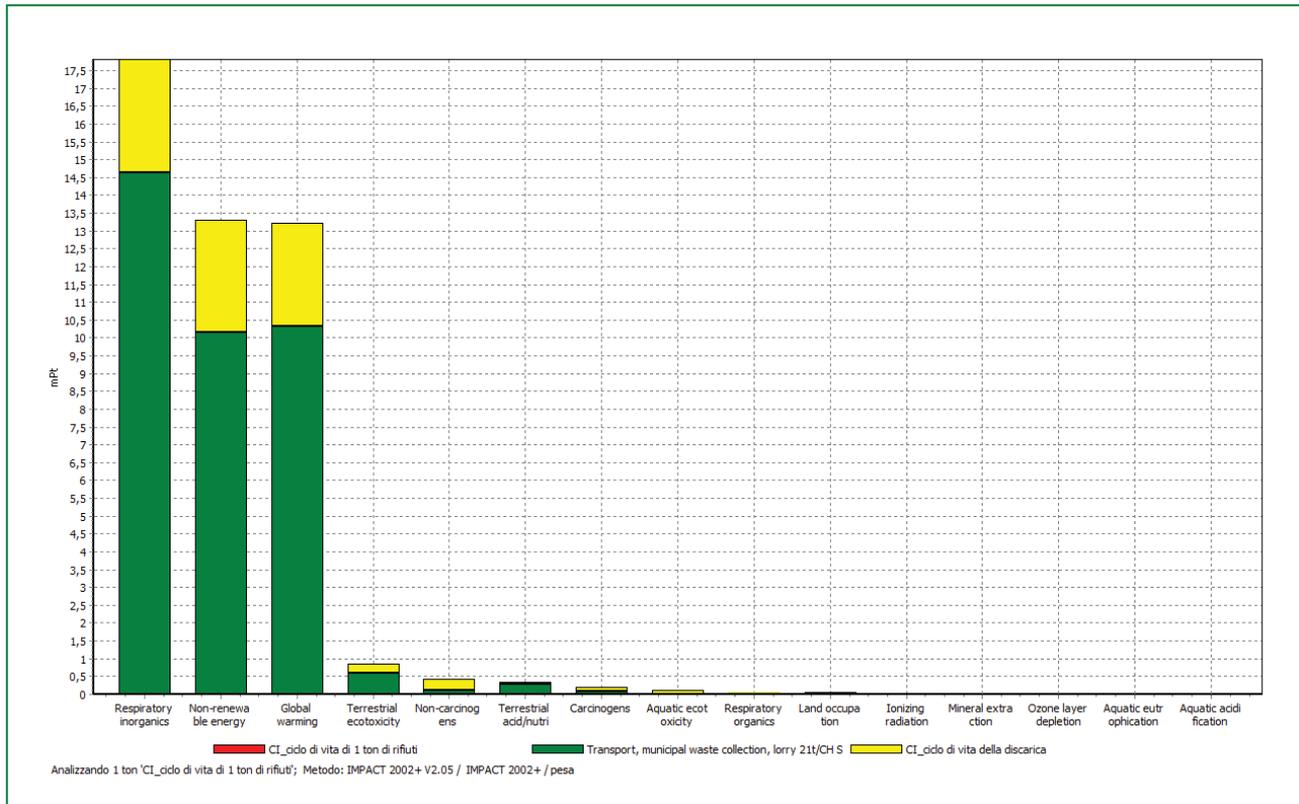



Fig. 14.4: Ciclo di vita di 1 ton di rifiuti – Pesatura per categorie di impatto

14.3.3.2 CICLO DI VITA DELLA DISCARICA

14.3.3.2.1 Presentazione dello studio

Il ciclo di vita della discarica è stato costruito separatamente, inserendo le fasi di realizzazione ed esercizio, nonché rappresentando l’unità funzionale nella forma di 1 p. A tale valore corrisponde un’occupazione superficiale complessiva di 36 ha ed un volume di abbancamento di rifiuti pari a circa 2.850.000 tonnellate. Ai fini dello sviluppo dello studio, si è considerato un tempo dell’ordine dei 10 anni per la fase di riempimento, mentre di 30 anni per quella di esercizio. Il ciclo di vita della discarica è stato richiamato all’interno di quello dei rifiuti per la quota parte associata ad una tonnellata, ossia 3,51E-7 p.

14.3.3.2.2 Analisi dei risultati

Il danno totale è pari a **2,87E4 pt** ed, è dovuto per il 43,4% alla costituzione dell’impianto e per il 56,6% alla fase di esercizio e gestione.
Gli istogrammi seguenti rappresentano graficamente i risultati ottenuti: in essi, alle due fasi sopra considerate, riportate nell’ascissa del grafico, sono state associate le categorie di danno e di impatto, mentre l’ordinata contiene la scala dei punteggi con cui è stato quantificato il danno.

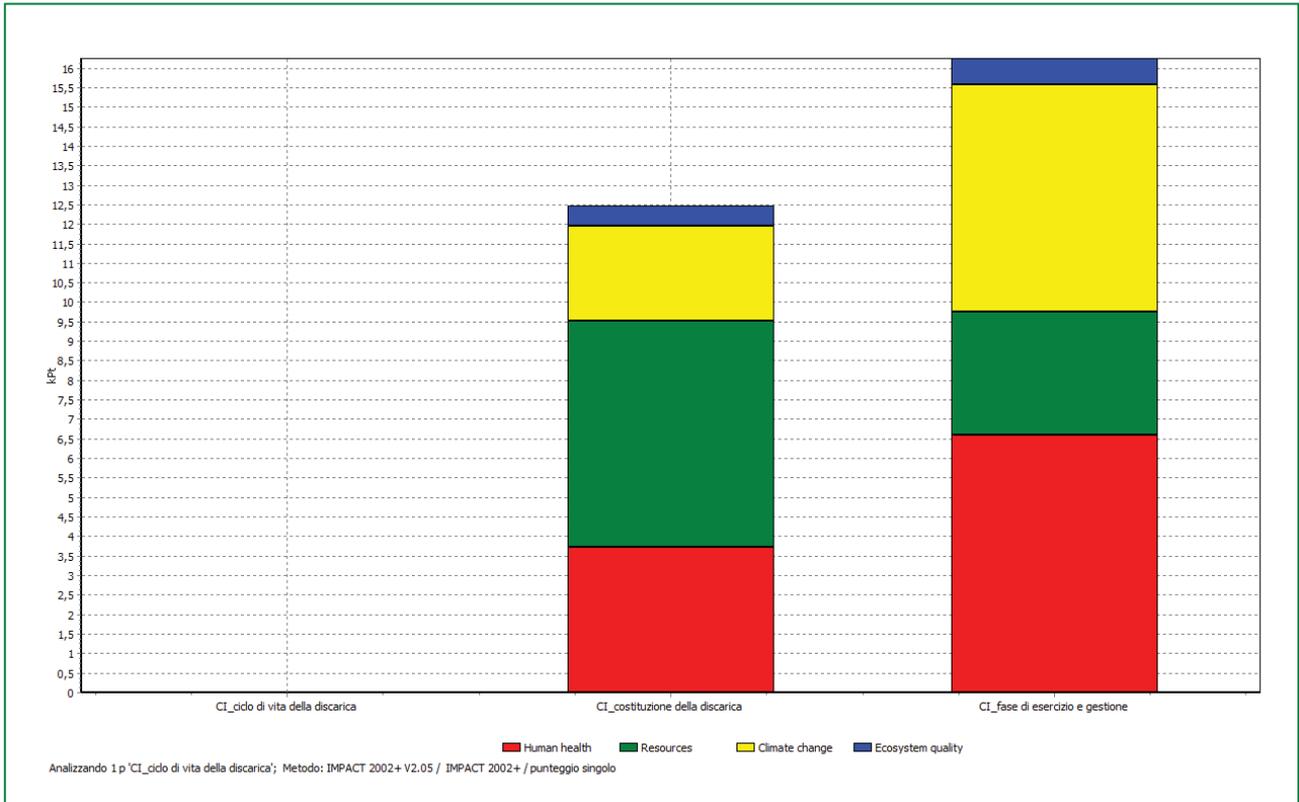



Fig. 14.5: Ciclo di vita della discarica in esame – Valutazione single score per categorie di danno

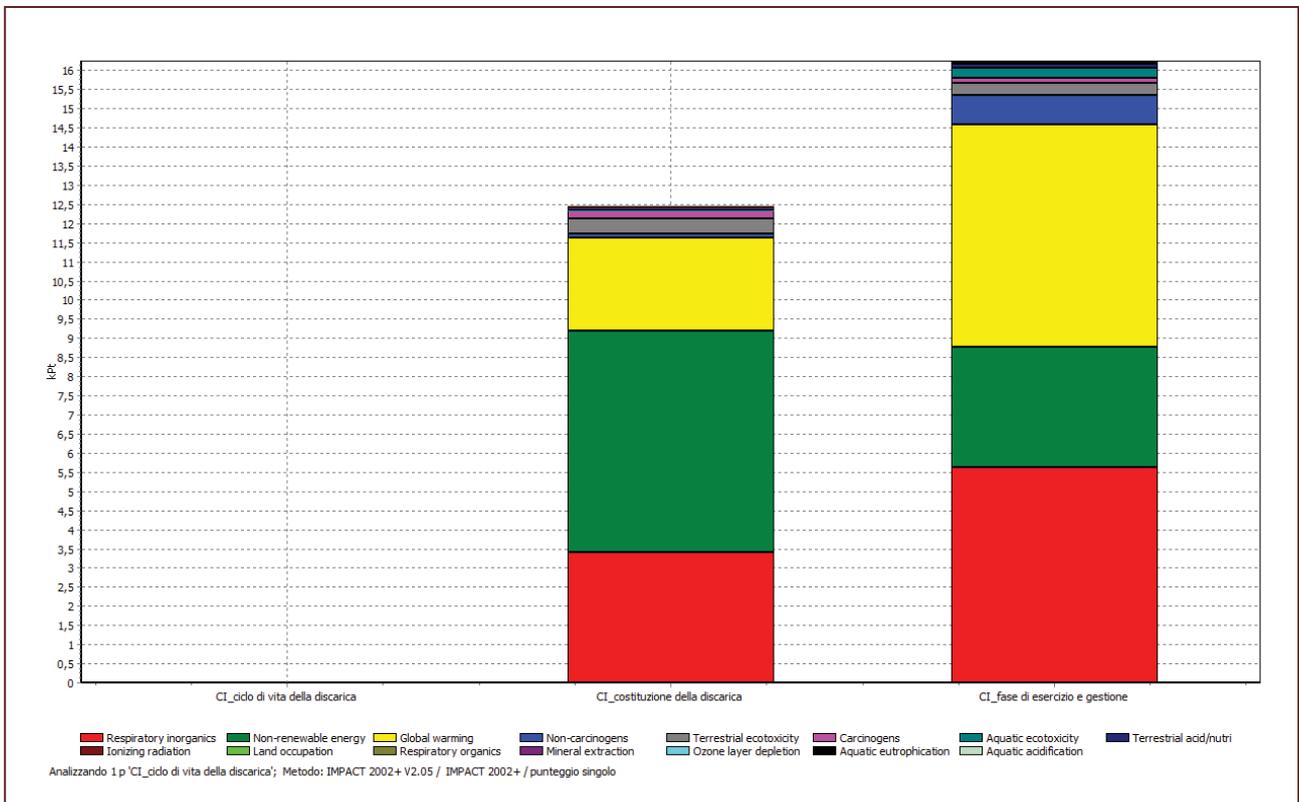



Fig. 14.6: Ciclo di vita della discarica in esame – Valutazione single score per categorie di impatto

In termini di categorie di danno, il danno totale è arrecato per il:

- 36% a Human health;
- 31,1% a Resources;
- 28,7% a Climate change;
- 4,16% a Ecosystem quality.

Tali macrocategorie sono state elencate nella tabella seguente in associazione ai corrispondenti valori di pesatura e "damages assessment", nonché alla percentuale di distribuzione tra le fasi del ciclo di vita della discarica.

Tabella 14.4: Valori di pesatura e valutazione dei danni per ciascuna delle quattro categorie di danno contemplate dal metodo Impact 2002+

Categoria di danno	*Weighing (pt)*	*Damages assessment value*	*Indicatore*	*Ciclo di vita della discarica (%)*	
				Costituzione	***Esercizio***
Human health	**1,03E4**	**73,3**	DALY	36,2	63,8
Resources	**8,93E3**	**1,36E9**	MJ primary	64,7	35,8
Climate change	**8,25E3**	**8,16E7**	$Kg_{eq}CO_2$	29,5	70,5
Ecosystem quality	**1,19E3**	**1,64E7**	$PDF*m^2*yr$	42,8	57,2

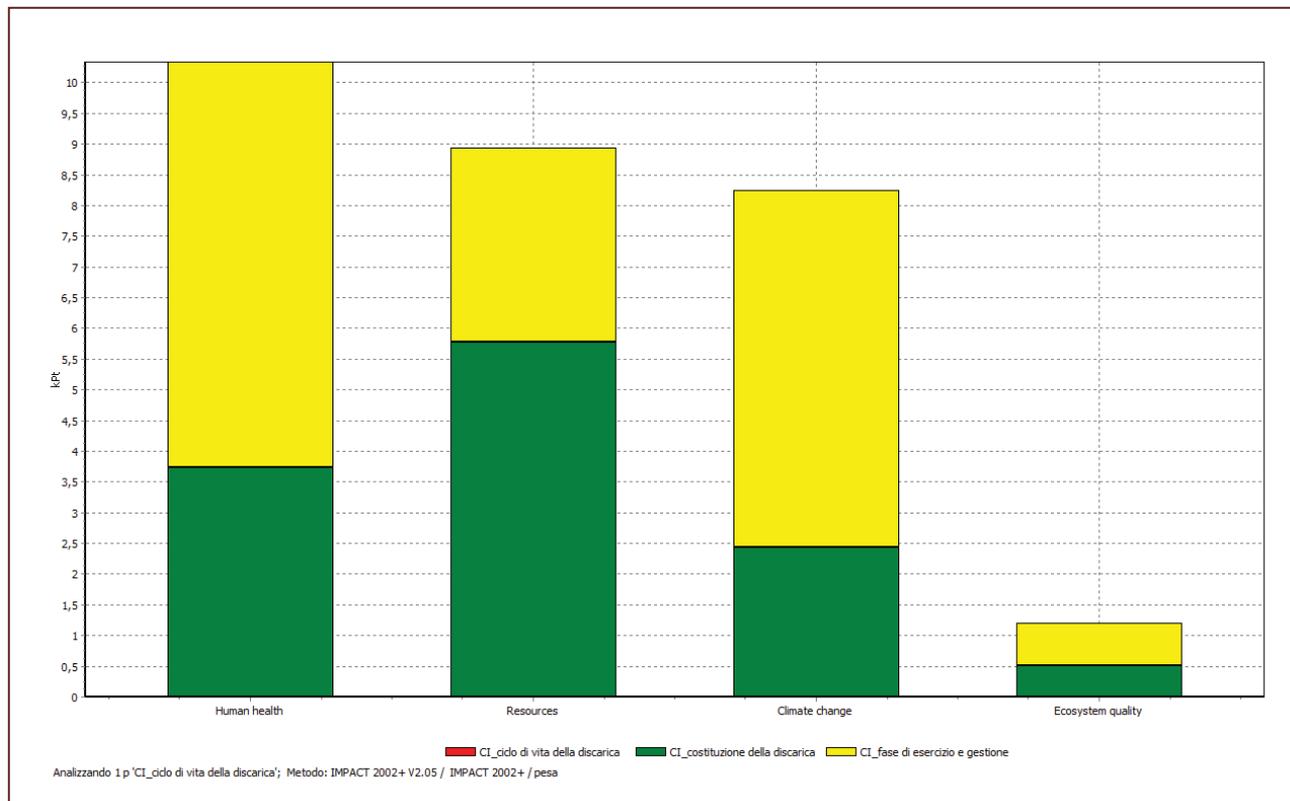



Fig. 14.7: Ciclo di vita della discarica – Pesatura per categorie di danno

Per ciascuna delle quattro categorie di danno, entrando nel merito delle sostanze emesse e delle risorse consumate, si riportando di seguito, analogamente a quanto già fatto per il ciclo di vita dei rifiuti, quelle maggiormente impattanti con le relative quantità.

Tabella 14.5: Sostanze e risorse più impattanti generate dai processi e sotto-processi caratterizzanti il ciclo di vita della discarica di Motta S. Anastasia

Sostanza	***Comparto di emissione***	***Quantità***	***Unità di misura***	***Percentuale di distribuzione (%)***	
				Trasporto in discarica	*Quota parte del ciclo di vita della discarica per 1 ton di rifiuti*
			RESOURCES		
Oil, crude, in ground	---	**19,10**	kton	78,7	21,3
Uranium in ground	--	**497**	kg	21,9	78,1
			CLIMATE CHANGE		
Carbon dioxide, fossil	air	**59,8**	kton	38,9	61,1
			HUMAN HEALTH		
Nitrogen oxides	air	**371,86**	kton	46,7	53,3
Particulates, < 2,5 microns	air	**32,51**	kton	29,9	70,1
			ECOSYSTEM QUALITY		
Aluminum	water	**3,53**	kton	0,372	99,6
Nitrogen oxides	air	**371,86**	kton	46,7	53,3
Zinc	soil	**69,7**	kg	95,4	4,6

Infine, a conclusione del paragrafo, lo studio è stato dettagliato entrando nel merito dei valori di danno dovuti alle categorie di impatto ed in particolare quelle più impattanti; queste sono:

1. ***Respiratory inorganics;***
2. ***Non renewable Energy;***
3. ***Global warming.***

Tabella 14.6: Valori di pesatura e caratterizzazione con relativo indicatore per ciascuna delle categorie di impatto maggiormente impattanti (risultati secondo Impact 2002+)

Categoria di impatto	*Weighing (pt)*	*Characterization value*	*Indicatore*
1	**9,04E3**	**9,16E4**	$Kg_{eq}P.M._{2.5,}$
2	**8,93E3**	**1,36E9**	MJ primary
3	**8,25E3**	**8,16E7**	$Kg_{eq}CO_2$

Nell'istogramma seguente sono state invece riportate tutte le categorie di impatto contemplate dal metodo Impact 2002+; in evidenza quelle di cui sopra in tabella.

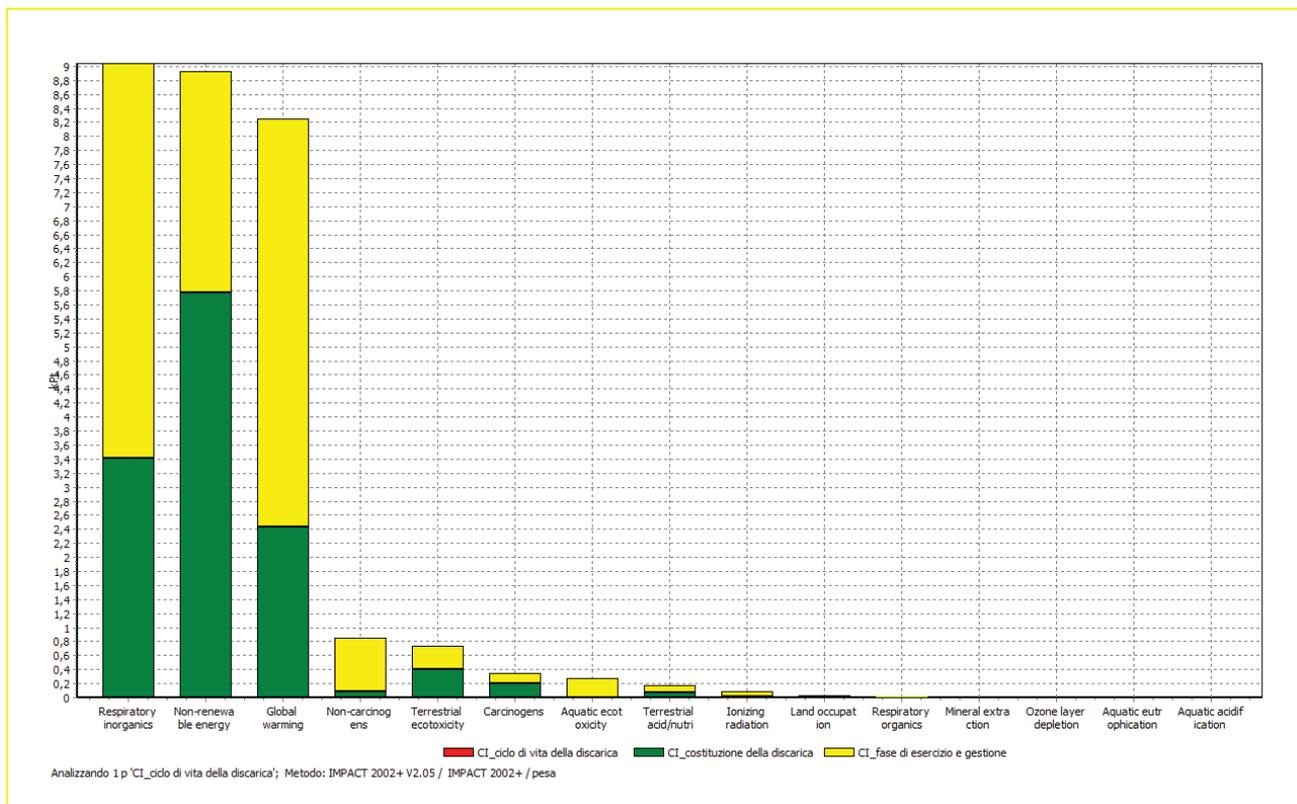



Fig. 14.8: Ciclo di vita della discarica – Pesatura per categorie di impatto

14.3.3.3 ANALISI DI SENSIBILITA’

Questo paragrafo è dedicato alla trattazione del confronto tra lo scenario di dispersione libera del biogas captato e quello del suo recupero in apposito impianto di cogenerazione con produzione di energia elettrica; quest’ultima, come si è visto nei paragrafi precedenti, è la soluzione attualmente praticata dal Gestore della discarica.

Questo studio ha permesso di verificare, da un punto di vista ambientale, la bontà di tale soluzione, dimostrando così che anche una discarica, ultimo anello nella gestione dei rifiuti, può e deve essere quanto più sostenibile possibile.

I grafici seguenti mostrano una riduzione del danno totale dell’ordine del 50%, da **0,0057** a **0,00253 pt**. Ciò dimostra che gli impatti ambientali derivanti dal ciclo di vita dell’impianto di cogenerazione sono giustificati non soltanto dalle minori dispersioni di biogas in atmosfera, ma soprattutto dal fatto che il suo recupero sottoforma di energia elettrica permette di evitare tutti gli impatti ambientali associati alla produzione della stessa da centrale termoelettrica.

Nel caso particolare, 1000 MWh prodotti ogni anno dall’impianto permettono di risparmiare:

- 238 TEP (Tonnellate Equivalenti di Petrolio);
- 676 ton di CO_2;
- 1,5 ton di NO_x.

Il confronto condotto ha riguardato esclusivamente la fase di gestione della discarica, in quanto l’ipotesi di impianto di cogenerazione con produzione di energia elettrica, rispetto alla dispersione in atmosfera, non comporta variazioni rilevanti nella costituzione della discarica ed in particolare nella realizzazione dell’impianto di captazione del biogas.

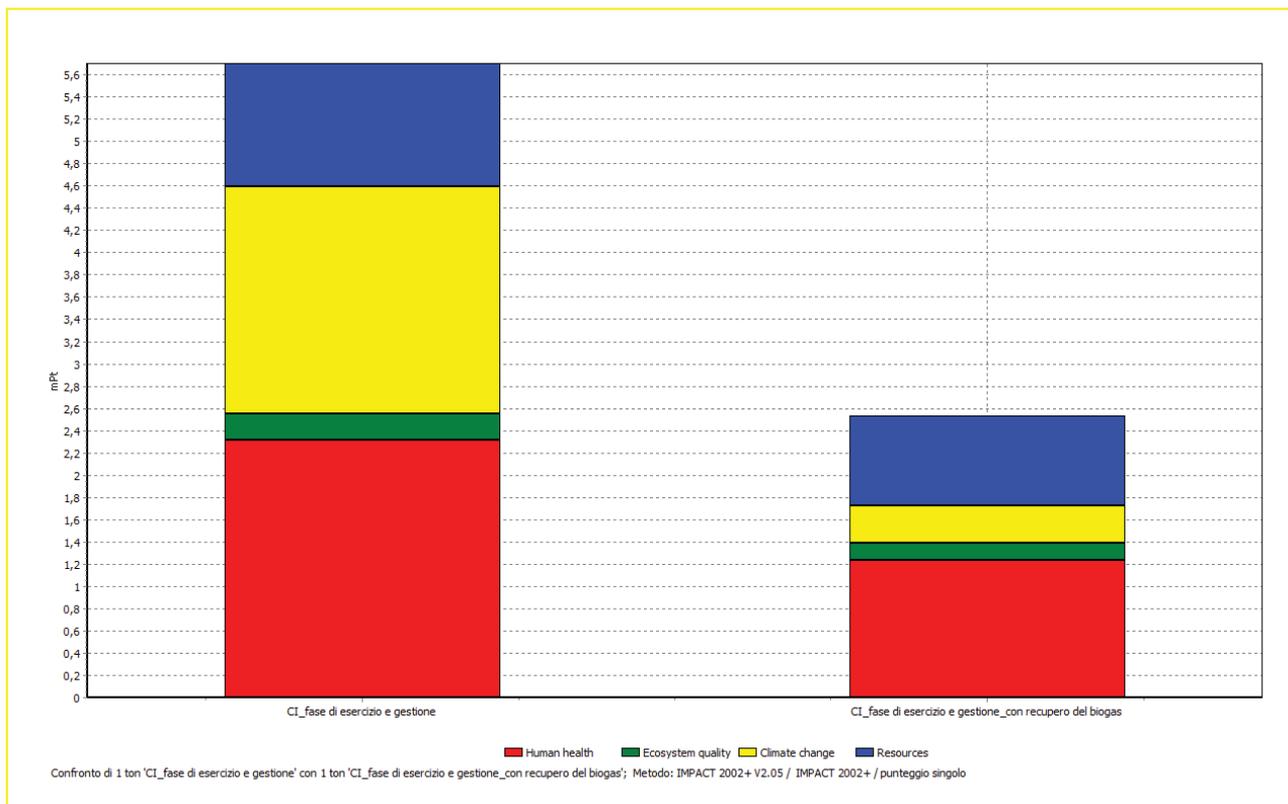



Fig. 14.9: Confronto tra lo scenario di dispersione in atmosfera del biogas e quello di combustione con recupero del biogas – Valutazione singole score per categorie di danno

Di seguito, si riporta un dettaglio grafico della fase di gestione della discarica nei due scenari sopra descritti. Dal confronto dei due istogrammi, si notano in particolare:

- la riduzione degli impatti ambientali associati alle emissioni nei comparti ambientali principali ed in particolare quelle relative al biogas in atmosfera, da 0,00234 a 0,000655 pt;
- la presenza dell'impatto associato al ciclo di vita dell'impianto di cogenerazione;
- il beneficio ambientale associato alla produzione di energia elettrica da biogas che pertanto costituisce un danno evitato pari a -0,0021 pt.

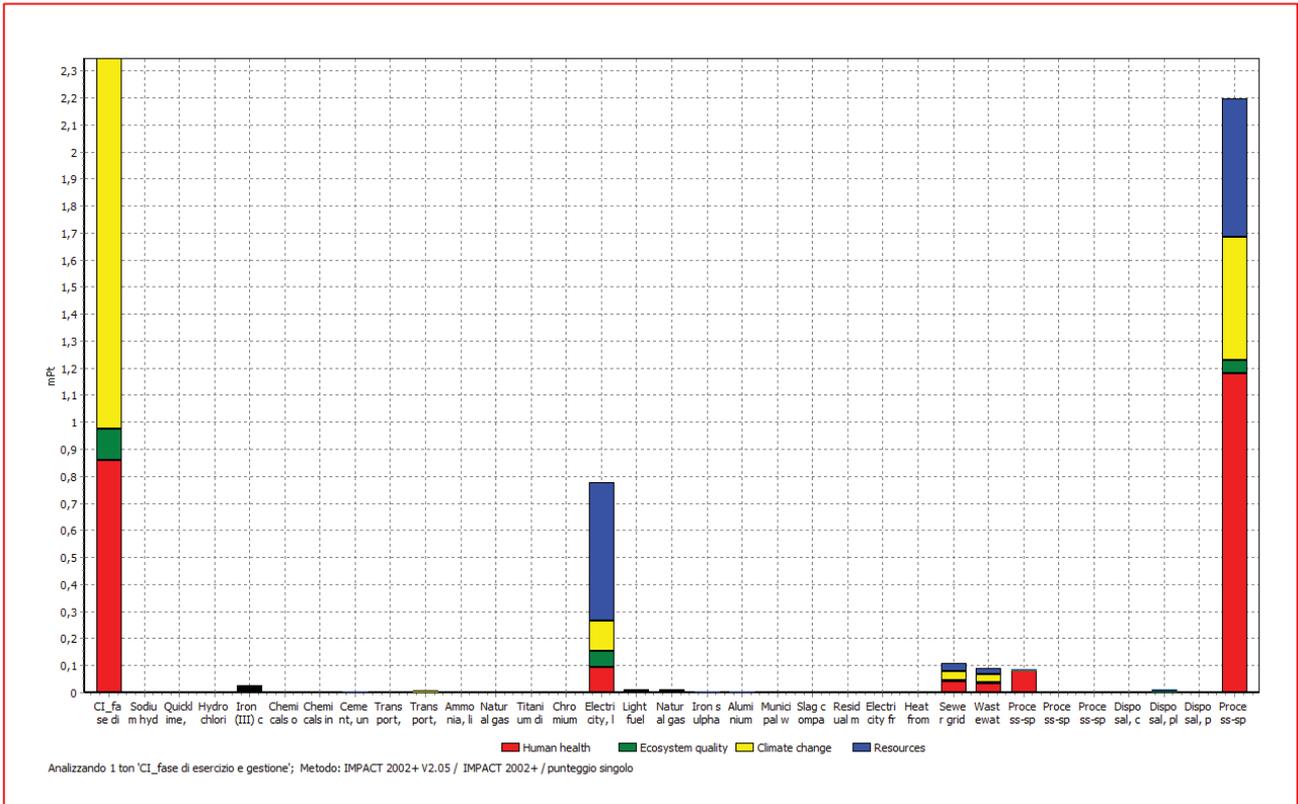



Fig. 14.10: Fase di esercizio della discarica in condizioni di dispersione in atmosfera – Valutazione singole score per categorie di danno

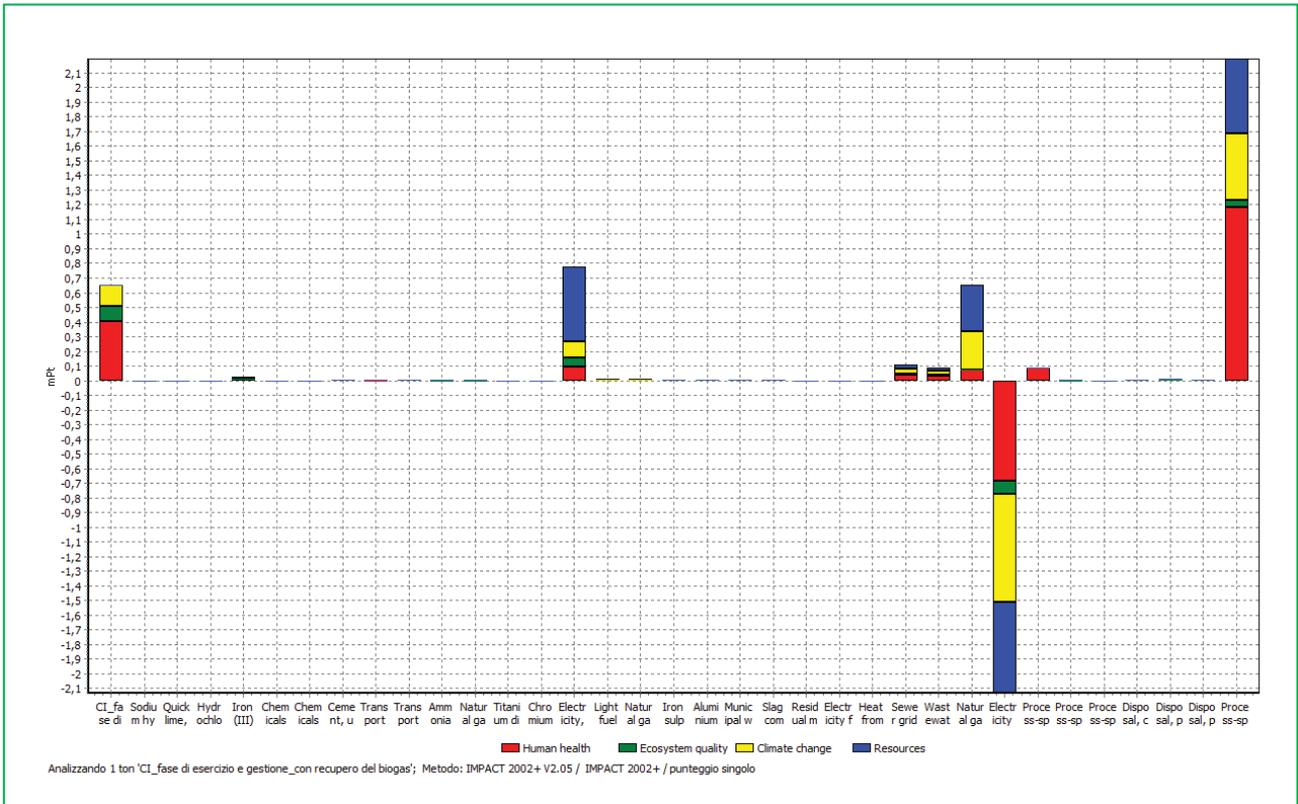



Fig. 14.11: Fase di esercizio della discarica in condizioni di recupero del biogas – Valutazione singole score per categorie di danno

14.4 Interpretazione dei risultati e relazioni con il piano di monitoraggio ed il sistema di gestione ambientale

14.4.1 Interpretazione dei risultati

Per quanto concerne il ciclo di vita della discarica, la fase di esercizio e gestione della discarica, risulta contribuire in maniera rilevante agli impatti sulle problematiche ambientali prese in considerazione con il metodo Impact 2002+.
Dall'analisi della fase di esercizio emerge che gli impatti ambientali principalmente incidenti sulle categorie di danno Human health ed Ecosystem quality sono legati alle emissioni di biogas "tal quale", ossia quella parte di biogas che non viene captata e convogliata all'impianto di combustione con recupero energetico.
Per quanto concerne le emissioni di CO_2, il contributo maggiormente significato deriva dalla quantità emessa dalle torce, tal quale e dall'impianto di cogenerazione.
La quantità di percolato che si infiltra non risulta rilevante: esso rappresenta infatti una eventualità remota considerate le caratteristiche dei materiali disposti sul fondo della discarica e data l'assenza nel sottosuolo di falde acquifere di rilievo.
Un aspetto molto positivo che emerge dalla fase di gestione della discarica è indubbiamente l'energia elettrica prodotta dal recupero di gran parte del biogas prodotto nell'impianto di cogenerazione. Si ha pertanto un danno evitato sulla categoria Risorse, in quanto in questo modo si evita che la stessa quantità di energia elettrica sia prodotta in una centrale con evidenti vantaggi sia ambientali che economici: i primi derivano dal fatto che sono evitati non soltanto gli impatti associati alla produzione di energia elettrica da combustione del petrolio ma anche quelli associati alla vita della centrale termoelettrica.
Il vantaggio economico non deriva solo da risparmio sull'acquisto dell'energia necessaria al fabbisogno dell'impianto, ma anche dalla vendita del surplus energetico immesso in rete.
I risultati ottenuti mostrano che, volendo stabilire delle priorità di intervento, la fase di esercizio della discarica risulta avere un rilevante impatto sull'ambiente e, all'interno di essa, le emissioni di biogas causano effetti sulla maggior parte delle categorie ambientali considerate e globalmente in maniera preponderante su Human health ed Ecosystem quality.
Risulta quindi appropriato individuare eventuali possibilità di massimizzazione dell'efficienza del sistema di captazione, al fine di ridurre il più possibile le emissioni di metano ed anidride carbonica contenuti nel biogas che sfugge alla captazione.

14.4.2 Relazioni col piano di monitoraggio ed il sistema di gestione ambientale

In seguito all'analisi svolta, risulta chiaro che esiste una diretta relazione tra la metodologia LCA ed il piano di monitoraggio nonché il sistema di gestione ambientale della discarica. Da quando la discarica è operativa è stato eseguito il monitoraggio dell'area circostante la discarica in oggetto, effettuando controlli su numerosi parametri chimico-fisici, microbiologici e biologici prelevando appositi campioni d'acqua superficiale e sotterranea, percolato e terreno. Inoltre, sono state compiute indagini sull'aria, sul rumore, sulle condizioni di salute dei lavoratori e ricerche su speciali animali e vegetali.
La LCA è una metodologia di valutazione ambientale in forte sviluppo ed espansione; a differenza di altri metodi focalizzati sulla diminuzione degli impatti ambientali associati ad una singola fase del ciclo di vita di un processo industriale, è una tecnica che permette di analizzare gli aspetti ambientali e gli impatti potenziali lungo tutta la vita di un prodotto con la conseguente

ottimizzazione dei processi e dell'uso delle risorse.
L'approccio LCA è importante perché solo tenendo conto dell'intero ciclo di vita del prodotto si evita, nel tentativo di migliorare alcuni processi industriale, di trasferire semplicemente gli impatti ambientali da una fase all'altra, anziché diminuire gli effetti globali.
Per quanto riguarda il percolato, ad esempio, è possibile valutare diversi scenari di trattamento delle emissioni e quindi quantificare gli impatti potenziali in un arco di tempo prestabilito, individuando la sostanza più critica per un determinato aspetto ambientale e da che fase del ciclo di vita viene prodotta; esso permette infine di correlare le emissioni a precisi processi ambientali e stabilire quindi su quali di questi si hanno i maggiori effetti.
Vengono quindi quantificati gli effetti potenziali su problemi ambientali a scala regionale e globale come effetto serra, acidificazione, emissione di sostanze cancerogene, etc.
Attraverso variazioni negli inputs ed outputs del ciclo di vita è possibile analizzare come cambierebbe il profilo ambientale del sistema in relazione a precisi interventi.
Il piano di monitoraggio, a differenza dell'approccio globale e della visione d'insieme fornita dall'LCA , consente di contestualizzare gli impatti fornendo ai portatori di interesse un'ingente quantità di informazioni sull'andamento delle principali variabili ambientali, mettendo in evidenza le potenziali aree critiche di intervento. Attraverso tale fase conoscitiva si può giungere ad una progettazione operativa con una maggiore consapevolezza critica che permetterà poi di porre le basi per una migliore politica dell'ambiente.
Gli interventi in campo ambientale sono, infatti, spesso caratterizzati da una scarsa conoscenza sia degli effetti da limitare che delle cause su cui intervenire; occorre quindi conoscere la dinamica delle variabili ambientali, tenendo conto di qual è la dinamica delle fenomenologie "causa-effetto" e qual è la "memoria" dell'ecosistema, la velocità dei vettori, i punti di accumulo e rilascio.
Occorre ricordare che l'anali del ciclo di vita è uno strumento complesso, di non immediata applicazione, in grado di fornire una visione globale e strategica, che copre molti aspetti talvolta trascurati. Esiste naturalmente un margine di errore legato al fatto che ad esempio per alcune sostanze, non esistendo ancora i fattori di caratterizzazione, sono necessarie alcune ipotesi.
In conclusione, l'applicazione della metodologia LCA al caso considerato ha permesso di individuare alcuni punti critici che potranno essere attentamente valutati nel piano di monitoraggio e nel sistema di gestione ambientale.
Questa metodologia infatti è sempre più utilizzata sia come supporto nell'analisi ambientale iniziale e sia per identificare le priorità di intervento e nella definizione della politica ambientale e degli obiettivi da perseguire.

14.5 Conclusioni

La valutazione del ciclo di vita è una tecnica per analizzare gli aspetti ambientali e gli impatti potenziali lungo tutta la vita di un prodotto o servizio: dalla acquisizione delle materie prime, attraverso la fabbricazione e l'utilizzazione, fino allo smaltimento. La metodologia LCA rappresenta lo strumento base del nuovo approccio europeo alla politica ambientale in quanto si presenta come uno strumento a sostegno delle decisioni che fornisce valutazioni quantitative, da integrarsi con altri strumenti di analisi.La metodologia LCA è stata applicata allo scopo di individuare ed analizzare i principali impatti ambientali associati al ciclo di vita della discarica per RSU di Motta S. Anastasia, prendendo come unità funzionale del sistema una tonnellata di rifiuti

con un orizzonte temporale per la produzione di biogas e percolato di 30 anni dopo la chiusura.
I dati di inventario utilizzati per lo sviluppo dello studio sono stati forniti dalla ditta che gestisce la discarica integrando, ove non è stato possibile ottenere dati primari, con dati di letteratura ed attingendo alla banca dati del software di calcolo (SimaPro) utilizzato per la valutazione ambientale.
In collaborazione con i tecnici dell'impianto è stato effettuato il calcolo delle quantità di biogas e percolato prodotte per effetto della fermentazione dei rifiuti deposti in discarica.
I dati sono stati inseriti in dei fogli di calcolo ed elaborati con Simapro; la fase di valutazione del danno è stata condotta utilizzando il metodo Impact 2002+.
Per quanto concerne il ciclo di vita della discarica, come mostrano i risultati ottenuti, la fase che maggiormente contribuisce a generare il danno totale è la fase di esercizio a causa degli impatti derivanti dalle fasi di gestione del biogas e del percolato.
Come già detto, un aspetto molto positivo che emerge dalla valutazione degli impatti associati alla fase di gestione della discarica, è indubbiamente l'energia elettrica prodotta dal recupero del biogas nell'impianto di cogenerazione che, nell'ambito dello studio di LCA rappresenta un danno evitato.
Lo studio ha messo in luce quelli che sono i principali spunti di miglioramento della qualità nella gestione della discarica:

- maggiore compattazione dei rifiuti;
- miglioramento della resa di recupero energetico;
- ottimizzazione del servizio di raccolta e trasporto dei rifiuti verso la discarica di Motta S. Anastasia.

L'analisi del ciclo di vita è uno strumento a sostegno delle decisioni, utilizzato non soltanto dall'industria ma anche dalle organizzazione governative; essa può infatti dare supporto per:

- identificare le criticità e le opportunità di miglioramento della performance ambientale dei prodotti nei diversi stadi del loro ciclo di vita, conseguendo vantaggi sia economici che ambientali;
- confrontare, per ogni fase del ciclo di vita del prodotto, diverse alternative di materiali e processi;
- prendere decisioni nell'Industria e nelle organizzazioni governative confrontando ad esempio diversi progetti e strategie;
- individuare gli indicatori più significativi per poter monitorare la performance ambientale del prodotto;
- promuovere la commercializzazione di prodotti a bassi impatti ambientali.

Per una più efficace comunicazione ambientale, i risultati ottenuti possono essere sintetizzati in una Dichiarazione Ambientale di Prodotto, nel rispetto di quanto previsto dalle norme europee ISO TR 14025.

Bibliografia

- ANDERI D. –CUSINATO E., *Ecocompatibiltà del prodotto* in "De Qualitate", luglio-agosto 2009
- BALDO G. L. - FOGLIA G. - TINTINELLI A., *L'industria energetica italiana nei calcoli di life cycle assessment,* in "Ambiente Risorse e Salute", n. 77, Gennaio-Febbraio 2001
- BALDO G. L. - MARINO M.- ROSSI S., *Analisi del ciclo di vita LCA*, Edizione Ambiente, Città del Castello (PG), 2008
- BELTRAMO R. - VESCE E. - PANDOLFI E. - CHIESA L. – SCIUTTO E., *Marchi ambientali,* in "De Qualitate", Aprile 2004
- BONANNO C., *La valutazione del ciclo di vita dei prodotti,* in "Ambiente Risorse e Salute", n. 51, Novembre 1996
- BREEDVELD L. – BORTOLOZZO B. - ACERBI A. – GALEAZZI G. – SALI M., *Il ruolo del settore pubblico nella diffusione del Life Cycle Assessment,* in "Ambiente Risorse e Salute", anno XXV n. 109, Maggio-Agosto 2006
- CALABRÒ G. - TARABELLA A., Sistemi di gestione ambientale: considerazioni sulla norma ISO 14001:2001, in "De Qualitate", settembre 2006, vol. n. 8
- CAMPANELLA P.– L- PETTI L., *La social LCA: una metodologia per la valutazione del profilo sociale dei prodotti*, DASTA Working Paper Series, n. 23, Aprile 2010
- CAMPIONE F. - PITRUZZELLA S., Sviluppo Sostenibile e Contabilità Ambientale, in "De Qualitate", settembre 2007, vol. n.8
- CARIANI R., *Ecodistretti 2009. Made "green" in Italy: le politiche ambientali dei sistemi produttivi locali e dei distretti industriali*, Franco Angeli, Milano, 2010
- CASALE L. M. - SENO A., *Gestione ambientale del territorio: un approccio alla certificazione dei sistemi di gestione ambientale attraverso una rete di soggetti* in "De Qualitate", febbraio 2002, vol. n.1
- CICERCHIA A. – ALTILI P. – ANGHINELLA S. – ZATTI A., S*trumenti* per le politiche di sviluppo sostenibile: contabilità, indicatori e acquisti verdi pubblici, FrancoAngeli, Milano, 2006
- CICERCHIA A., I temi dei Rapporti dell'ISAE: sviluppo umano e sviluppo sostenibile, ottobre 2003
- CIRAOLO L. - GIACCIO M. –MORGANTE A. –RIGANTI V., *Merceologia*, Monduzzi Editore, Bologna, 1998

- CLASADONTE M. T., *Sviluppo sostenibile e sistemi di gestione ambientale*, in Rispetto dell'ambiente e sviluppo sostenibile a cura di V. LOREFICE, Bonanno Editore, Acireale-Roma, 2009
- COLOMBO L., LOSCO S., PACELLA C., *La valutazione ambientale nei piani e nei progetti*, Edizioni Le Penseur, Maggio 2008
- D'AMICO F. et al., *Strumenti per le politiche di sostenibilità ambientale* in "Energia, Ambiente e Innovazione", gennaio-febbraio 2006
- DEL BORGHI A., *Analisi del ciclo di vita (LCA) applicata ai rifiuti: uno strumento per la progettazione ecosostenibile*, Ingegneria Ambientale, Quaderni, n.37 giugno 2003
- DEL BORGHI A. - IRALDO F. - BALDO G. L. - FIESCHI M., *Dichiarazione ambientale di prodotto: la sostenibilitá in chiave competitiva* in "Ambiente & Sicurezza - Il Sole 24 ore", n. 16, Agosto, 2007
- DEL BORGHI A. - GAGGERO P. L. - GALLO M. – STRAZZA C., *Sviluppo di PCR per impianti di trattamento di acque reflue basato su un caso studio* in "Ingegneria Ambientale", n. 7/8, Luglio - Agosto, 2009
- DOMINICI LOPRIENO A. – TARANTINI M., *Aree Industriali Sostenibili: esperienza e risultati del Progetto SIAM* in Atti del Convegno "Sviluppo industriale sostenibile, tecnologie al servizio dell'uomo nel rispetto dell'ambiente", 13-14 marzo 2008, Agenzia Polo Ceramico, Faenza
- EMAS, Newsletter, n. 1, 2010, pp. 1 – 4
- ENEA, *La rete italiana LCA: prospettive e sviluppi del Lyfe Cycle Assessment in Italia*, 2011
- FALANGA C. – RIGUCCIO L. - TOMASELLI G. – FAILLA A., "*Prodotto tipico – paesaggio tipico": una corrispondenza biunivoca per la valorizzazione e la promozione del territorio rurale mediterraneo* in Atti del IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria "Ricerca e innovazione nell'ingegneria dei biosistemi agro-territoriali", Ischia Porto, 12 – 16 settembre 2009
- Federazione ANIE, *Guida all'analisi del ciclo di vita*, Servizio Centrale Ambiente, Milano, 2009
- FERRARIS DI CELLE B., *Strumenti per l'eco-efficienza Impegno Rina,* in "De Qualitate", Gennaio 1999

- FIESCHI M. – FILARETO A., *Dichiarazione ambientale: nuovo sistema internazionale per i prodotti e i servizi* in “Ambiente & Sicurezza - Il Sole 24 ore”, n. 1, Dicembre, 2008
- FIESCHI M. - RICOTTA S. - VENTURINI E., *Documento di posizionamento tecnico 4/2008 del Gruppo di Lavoro Acquisti Verdi del Coordinamento Agende 21 Locali Italiane*, GPPnet, Cremona, 2008
- FRANCINI M. –VIAPIANA M. F., *L’identità dei territori come pratica di sviluppo sostenibile*, in Atti della XXVIII Conferenza Italiana di Scienze Regionali, Bolzano, 26-28 settembre 2007
- FREGNI A. - RESCA R.- SASTRE C. – TIMELLINI G., *Product Category Rules definition in the International EPD Framework: Ceramic Tile case study*, in: , 12th SETAC Europe LCA Case Studies Symposium: 2004/2005 European Meeting of the International Society for Industrial Ecology, BRUSSELS, SETAC Europe, 2005
- JOLLIET O, MARGNI M, CHARLES R, HUMBERT S, PAYET J, REBITZER G, ROSENBAUM R., *IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology*. International Journal of Life Cycle
- Assessment 2003; 8(6): 324 – 330.
- GERVASONI S., *Discariche controllate*, Biblioteca Tecnica Hoepli, Milano, 2004
- GERVASONI S., *Sistemi di gestione ambientale*, Biblioteca Tecnica Hoepli, Milano, 2007
- GIAGNORIO M. L. – VACCARI V., *Environmental product declarations: objectives and diffusion* in “Journal of commodity science, technology and quality”, n. 2, Aprile - Giugno, 2004
- GIOVANELLI F. - DI BELLA I. - COIZET R., *La natura nel conto. Contabilità ambientale: uno strumento per lo sviluppo sostenibile*, Edizioni Ambiente, Milano, 2005
- GOVERNALE A., *Rectoverso. La maiolica siciliana*, Altamura Editrice, Palermo, 1986
- IRALDO F., Le principali novità di Emas e Ecolabel alla loro terza versione in “INQUINAMENTO”, settembre/ottobre 2010
- ISTAT, , al 31/12/2010
- ISTITUTO SVILUPPO SOSTENIBILE ITALIA a cura di E. RONCHI, *Il territorio italiano e il suo governo – Indirizzi per la sostenibilità*, Edizioni Ambiente, Milano, 2005 *Bilancio Demografico e popolazione residente per sesso*
- LA CAMERA F., *Misurare il valore dell’ambiente*, Edizioni ambiente, Milano, 2009, p. 27
- LANCELLOTTA R., *Geotecnica – seconda edizione,* Zanichelli 2005

- LITIDO M. - ADAMOLI R. - CAROPRESO G., *Valutazione degli aspetti ambientali indiretti in un centro di ricerca* in "De Qualitate", gennaio 2006, vol. n.1
- MASOTTI L. – *Depurazione delle acque,* Calderini Editore 2002
- NERI P., *Verso la valutazione ambientale degli edifici. Life Cycle Assessment a supporto della progettazione eco-sostenibile*, Alinea Editrice, Firenze, 2008
- NOTARNICOLA B. - NICOLETTI G.M., *Strumenti di gestione ambientale: il caso dell'analisi del ciclo di vita,* in "Ambiente Risorse e Salute", n. 61, Maggio-Giugno 1998
- NOTARNICOLA B. – TASSIELLI G. – SETTANNI E., *Life Cycle Costing nella produzione di energia elettrica,* in "Ambiente Risorse e Salute", n. 101, Gennaio-Febbraio 2005
- PANNOCCHIA A. – CARROZZO C.P., Le politiche ambientali in Italia: dal disinquinamento alla prevenzione in Arpa Informa, n. 3, giugno/luglio 2003, anno V
- PANELLA G., *Economia e politiche del*l'ambiente, Carocci, Roma, 2002
- PEPE V., *Fare ambiente: teorie e modelli giuridici di sviluppo sostenibile*, FrancoAngeli, Milano, 2008
- PROTO M. – ROCA E. – SUPINO S., *Ecolabelling:un'analisi critica delle recenti dinamiche evolutive,* in "Ambiente Risorse e Salute", Marzo-Aprile 2005, n. 102
- RINA, *La dichiarazione ambientale di prodotto. Il punto di vista dei verificatori*, Genova, 2006
- ROMANIELLO A., Acquisti verdi e sistema di gestione ambientale in "DE QUALITATE", settembre, 2009
- SALOMONE R., *Problematiche connesse con la applicazione degli studi di life cycle assessment nelle piccole e medie imprese,* in "Ambiente Risorse e Salute", n. 91, Maggio-Giugno 2003
- SCIPIONI A. – MAZZI A. – ZULIANI F. – BOATTO T., *Life cycle assessment: uno strumento per la valutazione degli impatti ambientali,* in "De Qualitate", Settembre 2008
- SIBILIO S., *Certificazione e qualità,* in "Ambiente&Sicurezza", n. 8, 30 Aprile 2002
- SIBILIO S., *Nelle norme ISO per l'etichettatura ambientale l'evoluzione della politica integrata di prodotto,* in "Ambiente & Sicurezza", n. 8, 30 Aprile 2008